

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Univerzitní studijní programy

**Terminál pro sběr analogových,
impulsních a digitálních signálů vozidla
Hyundai se vznětovým motorem**

**Analog, Pulse and Digital Signals
Collection Terminal Vehicle Hyundai with
Diesel Engine**

Student:
Vedoucí diplomové práce:

Tomáš Osička
Ing. Petr Šimoník, Ph.D.

Ostrava 2013

Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Osička**
Studijní program: B3943 Mechatronika
Studijní obor: 3906R007 Automobilová elektronika
Téma: Terminál pro sběr analogových, impulsních a digitálních signálů vozidla Hyundai se vznětovým motorem
Analog, Pulse and Digital Signals Collection Terminal Vehicle Hyundai with Diesel Engine

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte detailní analýzu využívaných snímačů a čidel požadovaných hodnot elektronického systému řízení vznětového motoru vozidla Hyundai i30.
2. Navrhněte a realizujte terminál pro sběr dat ze snímačů a čidel požadovaných hodnot.
3. Dle specifikace vedoucího bakalářské práce proveďte proměření dostupných snímačů a čidel požadovaných hodnot. Na základě naměřených dat se detailně vyjádřete k jejich principu, funkci a vlastnostem.
4. Zpracujte uživatelskou příručku k realizovanému zařízení.

Seznam doporučené odborné literatury:

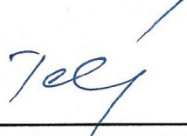
VLK, F.: Elektronické systémy motorových vozidel 1, 2. Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, Brno 2002, ISBN 80-238-7282-6
VLK, F.: Elektrická zařízení motorových vozidel. Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, Brno 2005, ISBN 80-239-3718-9
ŠTĚRBA, P.: Elektrotechnika a elektronika automobilů. Computer press, Praha, 2004
ERJAVEC, J.: Automotive Technology: A Systems Approach, 4th Edition, USA 2004, Thomson Learning, 1401 str., ISBN 1-4018-4831-1
RIBBENS, B., W.: Understanding Automotive Electronics, Sixth Edition, USA 2003, Elsevier Science, 480 str., ISBN 0-7506-7599-3
BOSCH technické brožury, žluté sešity 1996-2009

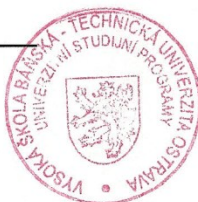
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

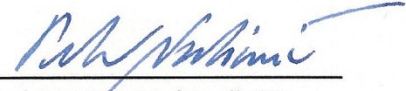
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Šimoník, Ph.D.**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 15.05.2013


doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Petr Noskovič, CSc.
prořektor pro studium

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:.....

.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Tomáš Osička

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Ladislava Hosáka 997/5

Ostrava, Bělský les

700 30

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Petru Šimoníkovi, Ph.D. za odborné konzultace, věnovaný čas a věcné připomínky, kterými přispěl k vypracování této práce.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá terminálem pro sběr analogových, impulsních a digitálních signálů vozidla Hyundai se vznětovým motorem. V první části je uveden teoretický popis vozidla a popis snímačů a akčních členů spadajících pod řídicí jednotku motoru. Na začátku druhé části práce je popsán návrh měřicího terminálu, praktická realizace a instalace terminálu do vozidla. V závěru druhé části práce jsou uvedeny výsledky měření v rámci ověření funkčnosti instalovaného terminálu. Součástí výsledků měření je i popis vlastností jednotlivých měřených snímačů a akčních členů. Uživatelská příručka k měřicímu terminálu je součástí přílohy.

Klíčová slova:

Měřicí terminál, EDC17, Hyundai i30, Common Rail, HFM 6

Abstract

The thesis is concerned with the collection terminals for analog, pulse and digital signals for Hyundai vehicle with a diesel engine. The first part provides a theoretical description of the vehicle and description of sensors and actuators under the engine control unit. At the beginning of the thesis second part is described the design of a measuring terminal, practical implementation and installation of the terminal in the vehicle. At the end of the second part are presented the results of measurements as a functional verification of installed terminal. The results of measurements include description of the measured sensors and actuators properties. Measurement terminal user's guide is a part of the Annex.

Keywords:

Measuring terminal, EDC17, Hyundai i30, Common Rail, HFM 6

Seznam použitých symbolů a zkratek

<i>CW</i>	Crossover Wagon	[-]
<i>VGT</i>	Variable-geometry turbocharger	[-]
<i>DOHC</i>	Double Over Head Camshaft	[-]
<i>PWM</i>	Pulse wide modulation	[-]
f	Frekvence	[Hz]
U	Napětí	[V]

Obsah

1	Úvod	9
2	Teoretický popis vozidla a jeho komponentů	10
2.1	Popis vozidla	10
2.2	Soustava dopravy vzduchu a spalín	12
2.2.1	Snímač hmotnosti vzduchu	14
2.2.2	Snímač plicího tlaku	15
2.2.3	Škrticí klapka	15
2.2.4	Aktuátor klapek víření	16
2.2.5	EGR ventil	17
2.2.6	Ventil regulace plicího tlaku	17
2.2.7	Snímače teploty výfukových plynů	19
2.2.8	Lambda sonda	20
2.3	Soustava dopravy paliva	21
2.3.1	Snímač průchodnosti palivového filtru	22
2.3.2	Snímač teploty paliva	22
2.3.3	Vysokotlaké čerpadlo	22
2.3.4	Ventil regulace tlaku paliva	23
2.3.5	Snímač tlaku v zásobníku paliva (Rail)	23
2.3.6	Vstřikovače	24
2.4	Ostatní snímače a akční členy nezbytné pro řízení motoru	27
2.4.1	Snímač otáček klikového hřídele	27
2.4.2	Snímač otáček vačkového hřídele	28
2.4.3	Snímač teploty chladicí kapaliny	28
3	Praktická realizace a ověření	29
3.1	Měřicí terminál	29
3.1.1	Návrh terminálu	29

3.1.2	Výroba terminálu	30
3.1.3	Instalace terminálu do vozidla	32
3.2	Experimentální ověření realizovaného terminálu	33
3.2.1	Snímač hmotnosti vzduchu.....	33
3.2.2	Snímač plnicího tlaku.....	36
3.2.3	Škrticí klapka	37
3.2.4	Klapky víření	38
3.2.5	EGR ventil	40
3.2.6	Ventil regulace plnicího tlaku.....	41
3.2.7	Širokopásmová lambda sonda	42
3.2.8	Snímače teploty.....	43
3.2.9	Ventil regulace tlaku paliva	44
3.2.10	Snímač tlaku v zásobníku paliva (Rail).....	45
3.2.11	Vstřikovače.....	46
3.2.12	Snímač otáček vačkového a klikového hřídele.....	47
4	Závěr.....	50
5	Seznam obrázků	51
6	Seznam tabulek	53
7	Seznam použité literatury	54
8	Seznam příloh	55

1 Úvod

Elektronika v současných automobilech je již neodmyslitelnou součástí, která pomáhá plnit stále zvyšující se nároky na hospodárnost, bezpečnost, jízdní komfort a v neposlední řadě i často skloňovaný vliv na životní prostředí. Pod stále lepšími parametry vozidel je podepsána především regulace procesů pomocí elektronických řídicích jednotek. Řídicí jednotky získávají potřebné informace ze snímačů a pomocí zásahů skrze akční členy se snaží dosáhnout ideálního průběhu daného procesu. V moderních automobilech je mnoho řídicích jednotek, ke kterým jsou připojeny jejich vlastní snímače a akční členy.

Pro pochopení jednotlivých systémů v automobilu je třeba provést analýzu daného systému od připojených snímačů a akčních členů až po sběrnice, kterými je propojen s dalšími řídicími jednotkami. Připojení řídicích jednotek na sběrnici umožňuje sdílet informace ze snímačů mezi všemi připojenými jednotkami, takže nemusí mít každá jednotka svůj vlastní snímač, ale stačí jeden pro celou síť.

Vhodným způsobem, jak postupovat při analýze daného systému, je sledovat závislost zásahu akčního členu například na změně snímané veličiny. Například změna polohy plynového pedálu ovlivňuje délku vstřiku. Kvůli horší dostupnosti některých čidel, snímačů a akčních členů byl v rámci bakalářské práce vytvořen měřicí terminál. Na terminálu jsou paralelně k řídicí jednotce motoru vyvedeny vodiče snímačů a akčních členů, které přímo souvisí s řízením motoru. Terminál usnadňuje a zrychluje měření, protože uživateli stačí si podle popisku najít zdířku hledaného snímače/akčního členu a pomocí banánkových koncovek se k ní připojit.

2 Teoretický popis vozidla a jeho komponentů

2.1 Popis vozidla



Obrázek 1 – Fotografie vozidla

Automobil, kterým se tato bakalářská práce zabývá, je model Hyundai i30 ve verzi CW (kombi) s pravostranným řízením, vyrobený v roce 2012 (dále jenom automobil nebo vůz). Vůz byl vyroben v závodě Hyundai Nošovice a škola jej obdržela jako dar od firmy Hyundai Motor Manufacturing Czech s.r.o. v rámci podpory vzdělání. Technická specifikace vozu:

Vnější rozměry vozu

Tabulka 1 – technická specifikace vnějších rozměrů [1]

Délka:	4485 mm
Šířka:	1780 mm
Výška:	1500 mm
Rozvor:	2650 mm
Minimální světlá výška:	140 mm

Motor

Tabulka 2 – technická specifikace motoru [1]

Motor:	1,6 CRDi VGT (110)
Kód motoru:	D4FB
Typ motoru:	vznětový řadový DOHC, 16 V
Zvihový objem motoru (cm ³):	1582
Palivo:	Diesel
Počet válců:	4
Kompresní poměr:	17,3:1
Výkon kW/otáčky:	81/4000
Max. točivý moment Nm/otáčky	260/1900- 2750
Příprava směsi:	Common Rail
Řídící jednotka motoru:	Bosch EDC17

Převodové ústrojí

Tabulka 3 – technická specifikace převodového ústrojí [1]

Typ převodovky:	Manuální
Počet převodových stupňů:	6
Hnané nápravy:	4x2

Hmotnosti

Tabulka 4 - technická specifikace hmotnosti [1]

Provozní hmotnost:	1401-1542 kg
Maximální hmotnost:	1920 kg

Provozní vlastnosti

Tabulka 5 - technická specifikace provozních vlastností [1]

Maximální rychlost:	185 km/hod
Objem palivové nádrže:	53 l
Spotřeba město:	5,1 l
Spotřeba kombinovaná:	4,3 l
Spotřeba mimo město:	3,9 l

Jak je uvedeno v tabulce 2, vůz je poháněn vznětovým motorem využívající systém Common Rail pro distribuci paliva. Řízení motoru je zajištěno elektronickou řídicí jednotkou Bosch EDC17. Motor je přepřehován turbodmychadlem s proměnnou geometrií lopatek. Pro dosažení emisní normy euro V je vůz vybaven filtrem pevných částic.

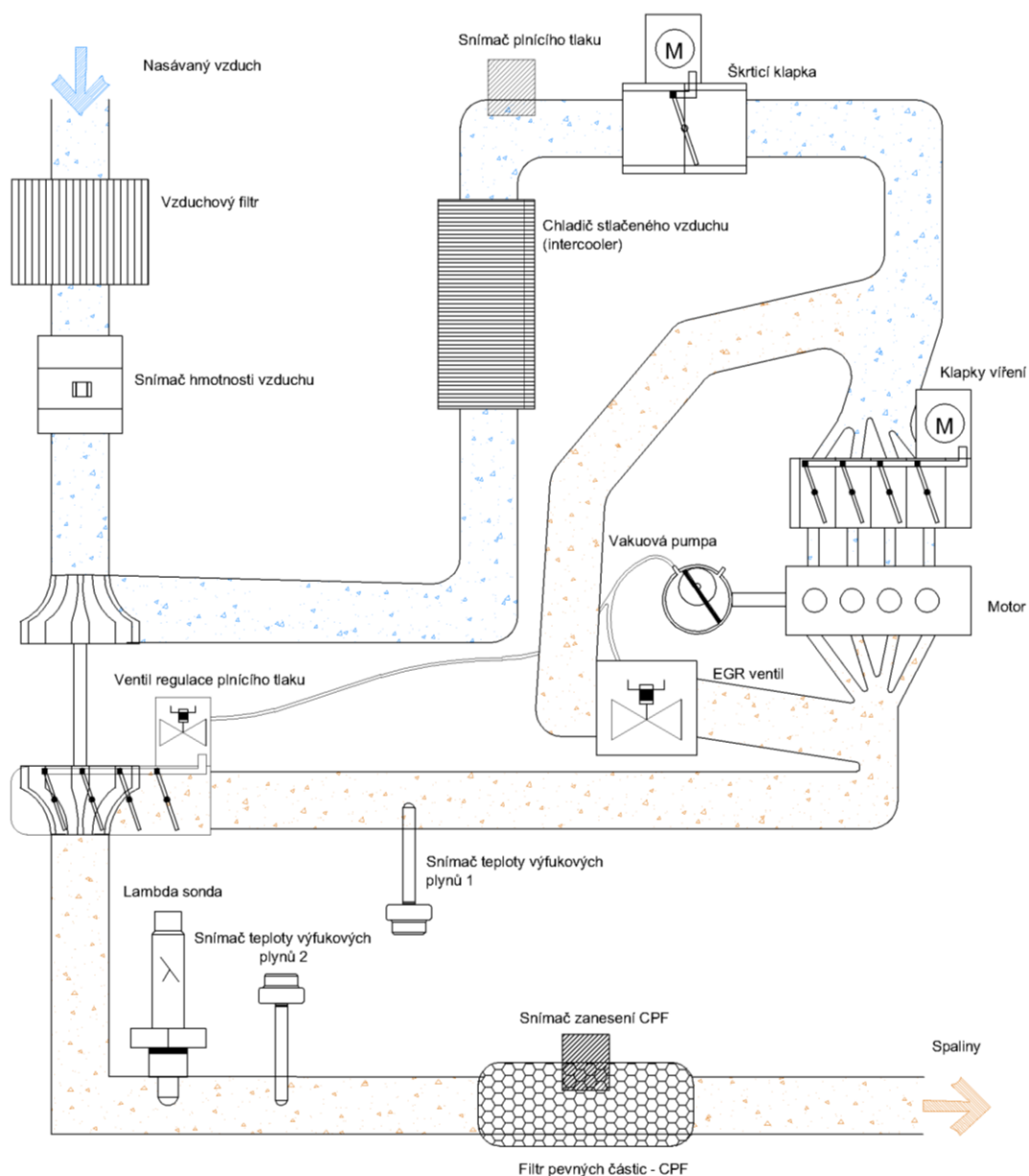
Pro pochopení činnosti řízení vznětového motoru je vhodné rozdělit množinu všech snímačů a akčních členů, které spadají pod řídicí jednotku motoru vozidla, na podsystémy. V rámci podsystémů je třeba popsat účel a vlastnosti jednotlivých prvků. V této práci jsou snímače a akční členy řídicí jednotky motoru rozděleny do následujících podsystémů:

- Soustava dopravy vzduchu a spalin
- Soustava dopravy paliva
- Ostatní snímače a akční členy nezbytné pro řízení motoru

V následujících kapitolách budou postupně popsány jednotlivé podsystémy a jejich snímače a akční členy.

2.2 Soustava dopravy vzduchu a spalin

Hlavním úkolem soustavy dopravy vzduchu a spalin je přivádět ideální směs vzduchu a spalin pro danou situaci do pracovního prostoru válce v době sání motoru. V době výfuku je úkolem soustavy odvádět spaliny do okruhu recirkulace spalin a do výfukového potrubí v poměru vyhodnoceném řídicí jednotkou motoru. Podle obrázku 2, kde je schématicky znázorněna soustava dopravy vzduchu a spalin pro zkoumaný automobil, bude postupně popsán význam jednotlivých prvků ve schématu.



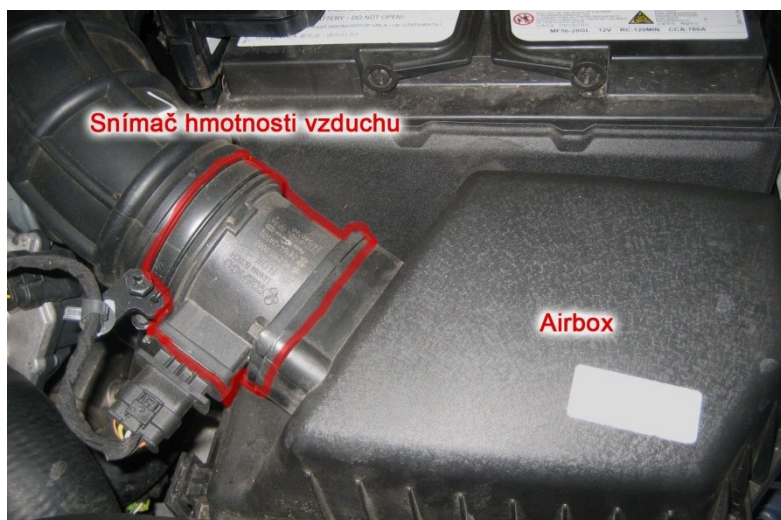
Obrázek 2 - Soustava dopravy vzduchu a spalín

Nasávaný vzduch zvenčí prochází vzduchovým filtrem, jehož úkolem je zachytit velké částice, aby nedošlo k mechanickému poškození některého z prvků v soustavě (například lopatek turbodmychadla). Ze vzduchového filtru proudí vzduch přes snímač hmotnosti vzduchu, kde je měřeno množství a směr protékajícího vzduchu, do turbodmychadla, které mechanicky zvyšuje tlak nasávaného vzduchu. Za turbodmychadlem je měřena velikost plnicího tlaku. Stlačený vzduch putuje do intercooleru, kde probíhá chlazení vzduchu, aby bylo do prostoru válce dopraveno co největší množství (hmotnost) kyslíku v co nejmenším objemu. Zchlazený vzduch z intercooleru prochází přes škrticí klapku, která je po celou dobu běhu motoru plně otevřená. Před vstupem směsi vzduchu a spalín do prostoru válce prochází směs potrubím s klapkami nastavujícími velikost víření. Klapky víření se natáčí v závislosti na zatížení motoru a pomáhají k dosažení požadovaného točivého momentu.

Po spálení směsi ve válci se spaliny rozdělují do potrubí k EGR ventilu a do výfukového potrubí. EGR ventil se otevírá v závislosti na požadavku recirkulování spalín a umožňuje proudit spalinám zpět do sání před klapky víření. Díky zpětnému vedení výfukových plynů je vznětový motor schopen pracovat v oblasti středního a nízkého zatížení s výrazně lepšími emisemi. Výfukové potrubí je připojeno k turbodmychadlu, kde je proudícím tokem spalín z motoru roztáčena turbína a tento točivý pohyb je přes hřídel přenášén na čerpadlo turbodmychadla umístěného v sání. Kolem turbíny jsou rozmístěny lopatky s variabilní geometrií, které jsou natáčeny pomocí ventilu regulace tlaku přeplňování. Natáčením lopatek je regulována velikost plnicího tlaku. Před i za turbínou turbodmychadla jsou umístěné snímače teploty výfukových plynů. Za turbínou turbodmychadla je umístěna lambda sonda, která měří množství kyslíku ve spalinách. Za lambda sondou je umístěn filtr pevných částic, který významným způsobem snižuje množství sazí ve výfukových plynech. Stav filtru pevných částic je vyhodnocen na základě difference tlaku před a za filtr pomocí diferenčního snímače tlaku. V následujících podkapitolách budou podrobněji popsány jednotlivé snímače a akční členy soustavy.

2.2.1 Snímač hmotnosti vzduchu

Pro výpočet doby vstřiku, respektive množství vstřikovaného paliva, je nezbytné znát množství nasávaného vzduchu, aby mohlo spalování proběhnout při požadované kvalitě. Měření množství nasávaného vzduchu je ve voze realizováno snímačem hmotnosti vzduchu značky Kefico (licence Bosch) HFM6.



Obrázek 3 – Snímač hmotnosti vzduchu

2.2.2 Snímač plnicího tlaku

„MAP (Manifold Absolute Pressure) snímač je mikromechanický snímač, který měří absolutní tlak v sacím potrubí a porovnává ho s referenčním vakuem a neporovnává ho s okolním tlakem.“ [5]

Snímač plnicího tlaku je umístěn v sacím potrubí před škrticí klapkou a snímá relativní velikost tlaku a teplotu nasávaného vzduchu. Změřený tlak snímačem slouží k regulaci plnicího tlaku.



Obrázek 4 – Snímač plnicího tlaku

2.2.3 Škrticí klapka

Škrticí klapka u dieselového motoru nemá za úkol, zjednodušeně řečeno, propouštět množství vzduchu odpovídající sešlápnutí plynového pedálu, jako tomu je u benzínových motorů. Škrticí klapka na voze má za úkol zavřít přívod vzduchu při vypnutí motoru, aby došlo k rychlejšímu zastavení motoru.

Škrticí klapka na voze je ovládaná řídicí jednotkou motoru a natočení je prováděno pomocí stejnosměrného servomotoru. Informaci o skutečném natočení škrticí klapky poskytuje řídicí jednotce potenciometrický snímač natočení škrticí klapky, který je integrován v pouzdře se servomotorem. Díky informaci o poloze z potenciometrického snímače může být řídicí jednotkou diagnostikována závada škrticí klapky, pokud se nastavená poloha neshoduje s polohou vyčtenou ze snímače polohy klapky.



Obrázek 5 – Škrticí klapka

2.2.4 Aktuátor klapek víření

Klapky víření jsou umístěné v sacím potrubí těsně před vstupem nasávané směsi do jednotlivých válců. Klapky víření mají za úkol při nízkém zatížení vytvářet víření v sacím potrubí pro dosažení lepšího spalování a lepších emisí. Při nízkém zatížení jsou klapky zavřené a se zvyšujícím se zatížením a se klapky postupně otevírají až do úplného otevření.

Aktuátor klapek je řízen řídicí jednotkou motoru a klapky ovládá pomocí elektrického servomotoru. V rámci pouzdra aktuátoru je integrován i potenciometrický snímač polohy klapek, díky kterému je možné diagnostikovat poruchu tohoto akčního členu.



Obrázek 6 – Aktuátor klapek víření

2.2.5 EGR ventil

Diesellový motor pracuje v oblastní nízkého a střední zatížení s chudou směsí tedy s přebytkem kyslíku. V tomto režimu dochází při spalování k dosahování vysokých teplot, při kterých roste objem vyprodukovaných zdraví nebezpečných oxidů dusíku. Aby byla omezena tvorba nebezpečných oxidů dusíku, provádí se přepouštění spalin z motoru EGR ventilem zpět do sání před klapky víření, kde jsou spaliny nasáty se vzduchem do prostoru válce. Recirkulací spalin je snížen obsah kyslíku ve spalované směsi a spalování díky tomu probíhá při nižších teplotách za vzniku menšího objemu oxidů dusíku.

EGR ventil je elektromagnetický ventil umístěný na vozidle u výfukového potrubí, vzhled ventilu viz obrázek č. 4. Ventil je napájen přes okruh hlavního relé a je řízen skrze výkonovou část řídicí jednotky motoru PWM řídicím napětím. Velikost vysunutí kotvy elektromagnetu je úměrná střídě řídicího napětí. Skutečná poloha EGR ventilu je snímána potenciometrickým snímačem polohy a signál je vyhodnocován v řídicí jednotce motoru pro vytvoření korekce a diagnostiku ventilu.

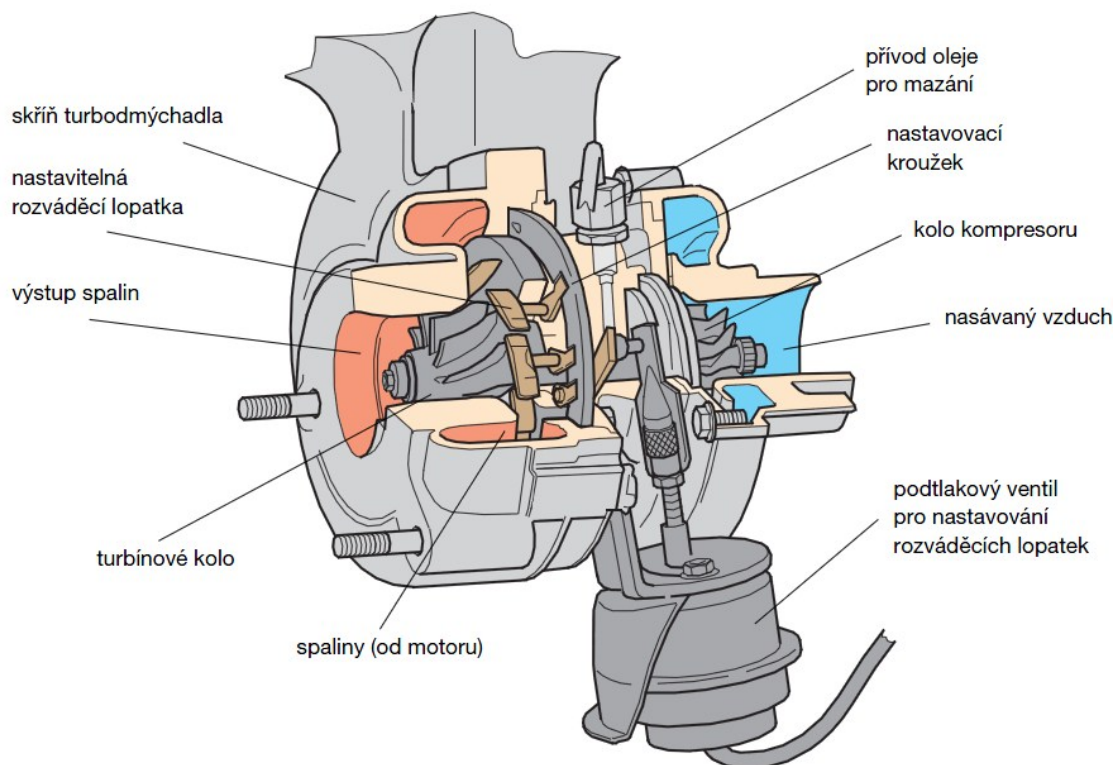


Obrázek 7 – EGR ventil

2.2.6 Ventil regulace plnicího tlaku

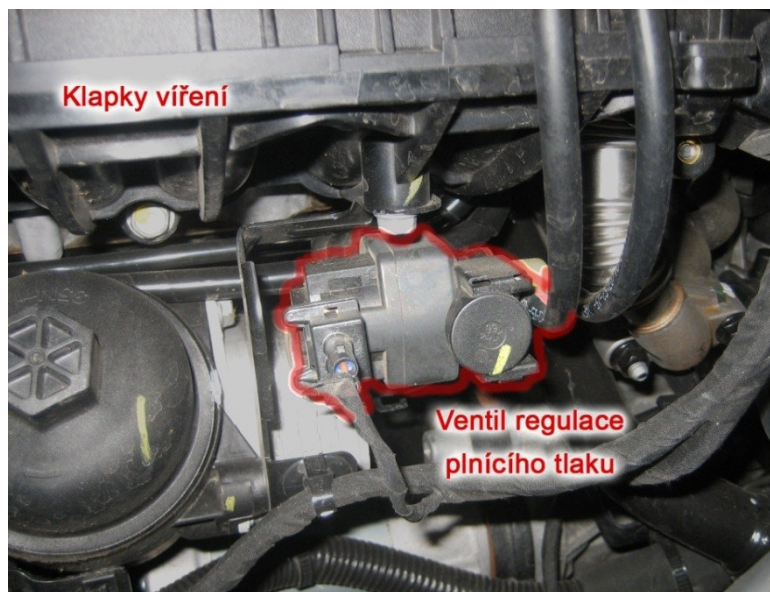
Pro dosažení maximálního točivého momentu v širokém spektru otáček je třeba vytvořit konstantní plnicí tlak. Při nízkých otáčkách motoru ovšem spaliny nedosahují potřebné rychlosti pro roztočení turbodmychadla na požadované otáčky. Řešením je technologie natáčení lopatek turbodmychadla. V turbíně turbodmychadla se natáčí rozvádějící lopatky (viz obrázek 5) umístěné kolem kola turbíny a snižuje tím průtočný průřez přívodního potrubí. Proudící vzduch je při stejném tlaku tlačěn užším přívodem

rychleji a turbodmychadlo je díky tomu schopné dosáhnout vysokých otáček i při nízkých otáčkách motoru.



Obrázek 8 – Turbodmychadlo s variabilní geometrií lopatek [2]

Ventil regulace plnicího tlaku je elektricky řízený pneumatický ventil. Řízení ventilu probíhá pomocí PWM řízeného napětí z výkonové části řídicí jednotky. Podle velikosti střídý signálu proudu je přepouštěn podtlak od vakuové pumpy. Skrze přepouštěný podtlak se přes membránu v podtlakovém ventilu pohybuje táhlo, které je připojené k natáčení lopatek v turbodmychadle. Ventil regulace plnicího tlaku je umístěn pod plastovým sacím potrubím s klapkami víření.



Obrázek 9 – Ventil regulace plnicího tlaku

2.2.7 Snímače teploty výfukových plynů

Snímače teploty výfukových plynů jsou na voze dva. První je umístěný před turbínou turbodmychadla a druhý je umístěný před filtrem pevných částic. Teplota spalin před turbodmychadlem je zohledňována řídicí jednotkou motoru při nastavování množství recirkulovaných spalin. Druhý snímač teploty umístěný před filtrem pevných částic poskytuje informaci o teplotě zejména při regeneraci filtru pevných částic. Při regeneraci filtru je potřeba dosažení zvýšené teploty (až 600 °C) pro vypálení usazených sazí. Snímače teploty výfukových plynů jsou konstruovány jako odporové kovové, kvůli měření vysokých teplot.



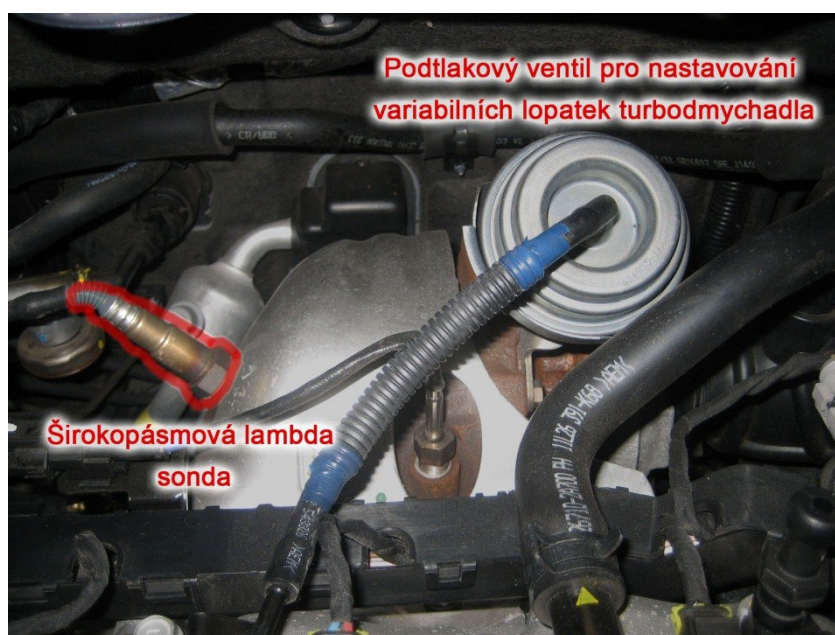
Obrázek 10 – Snímač teploty výfukových plynů před turbínou turbodmychadla

2.2.8 Lambda sonda

Širokopásmová lambda sonda ve výfukovém potrubí vznětového motoru pomáhá řízení motoru splňovat stále přísnější emisní normy. Na základě informace o složení výfukových plynů z lambda sondy koriguje řídicí jednotka recirkulaci výfukových plynů, plnicí tlak vzduchu a okamžik vstřiku tak, aby bylo dosaženo požadovaného složení výfukových plynů v rámci požadavku na krouticí moment.

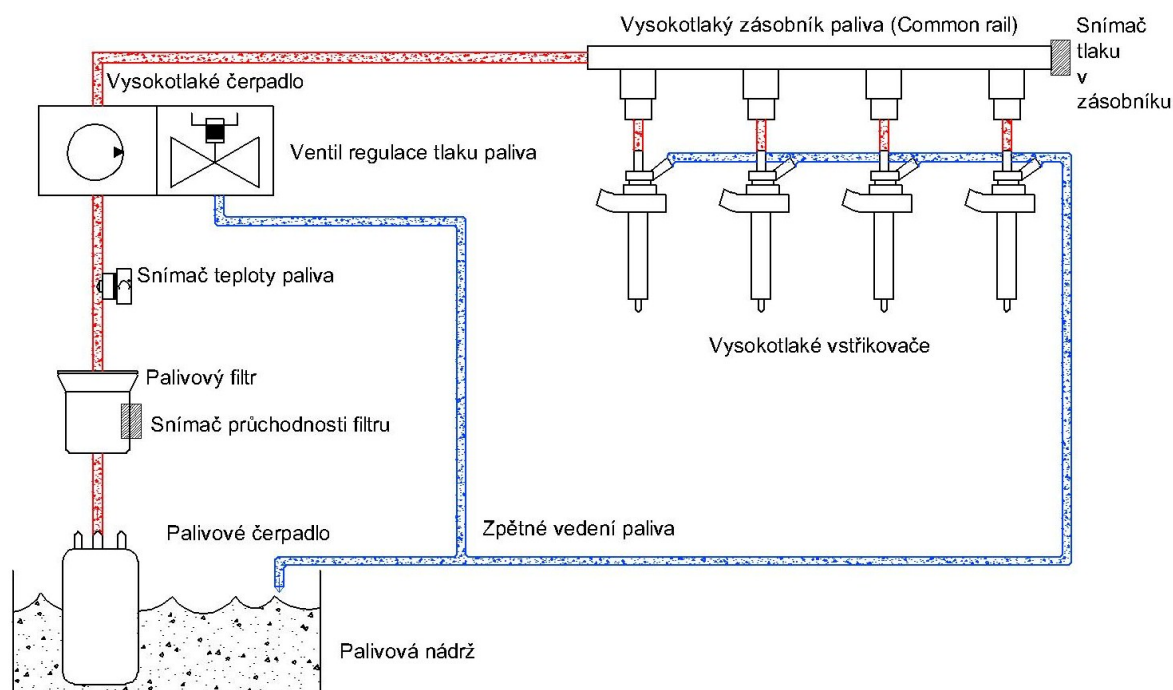
Lambda sonda je na vozidle umístěna za turbodmychadlem, viz obrázek 8, a jde o lambda sondu značky Keřico (s licenci Bosch) LSU 4.9. Jelikož vznětový motor pracuje ve velmi širokém rozpětí hodnoty lambda, je lambda sonda na vozidle širokopásmová.

„Tento snímač je určen k měření obsahu kyslíku a hodnoty lambda ve výfukových plynech automobilových motorů (zážehový nebo vznětový). Širokopásmová lambda sonda LSU 4.9 je planární ZrO₂ sonda s dvojitým článkem omezující proud snímačem s integrovaným vyhříváním. Jeho výstupní signál v rozsahu od $\lambda = 0,65$ do hodnoty čistého vzduchu umožňuje LSU nasazení sondy jako univerzální sondy pro $\lambda = 1$, tak i pro měření jiných λ rozsahů.“ [6]



Obrázek 11 – Lambda sonda

2.3 Soustava dopravy paliva



Obrázek 12 - Soustava dopravy paliva

Doprava paliva začíná u palivového čerpadla, které tvoří tzv. nízkotlaký okruh a čerpá palivo z palivové nádrže přes palivový filtr do vysokotlakého čerpadla. Toto vysokotlaké čerpadlo systému Common Rail zvyšuje tlak paliva z nízkotlakého okruhu na vysoký tlak, aby výsledný tlak paliva z čerpadla putující do zásobníku paliva (v zásobníku paliva) odpovídal požadované hodnotě, která může dosahovat až 160 MPa. Pro regulaci požadovaného tlaku je na čerpadle umístěn elektromagnetický regulační ventil, který svým otevíráním a přivíráním zajišťuje požadovaný tlak. Z vysokotlakého čerpadla míří palivo do zásobníku paliva (Rail), kde je pomocí snímače tlaku v zásobníku měřena aktuální hodnota tlaku. Informace hodnotě tlaku v zásobníku je nezbytná pro výpočet doby vstřiku jednotlivých vstřikovačů. Délka vstřiku je v řídicí jednotce počítaná z požadovaného množství paliva a aktuálního tlaku v zásobníku. Ze zásobníku je palivo rozvedeno k jednotlivým vstřikovačům. Vstřikovače se otevírají a zavírají pomocí elektrických impulsů z řídicí jednotky a vstřikují tak požadované množství paliva do prostoru válců v přesně požadovaný čas.

V následujících podkapitolách jsou popsány jednotlivé snímače a akční členy kromě palivového čerpadla.

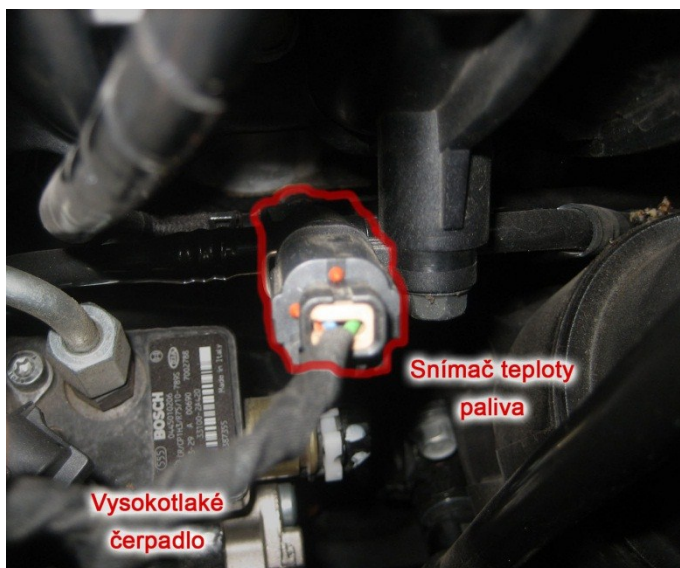
2.3.1 Snímač průchodnosti palivového filtru

Snímač průchodnosti palivového filtru je umístěný na palivovém filtru a indikuje zanesení palivového filtru a nutnost filtr vyměnit. Signál o zanesení palivového filtru se zobrazuje i na přístrojovém panelu.

2.3.2 Snímač teploty paliva

Teplota paliva je jeden z parametrů pro výpočet doby vstřiku, protože s měnící se teplotou nafty se mění i její objem. Pokud má být dodržený vypočtený hmotnostní poměr vstřikované nafty k nasávanému vzduchu, je potřeba zohlednit teplotu paliva při výpočtu doby vstřiku. S rostoucí teplotou se totiž narůstá objem nafty a pro vstříknutí stejné hmotnosti paliva je u teplejšího paliva potřeba delší doba.

Snímač je na voze umístěn na přívodním potrubí před vysokotlakým čerpadlem, viz obrázek 13.



Obrázek 13 – Snímač teploty paliva

2.3.3 Vysokotlaké čerpadlo

„Vysokotlaké čerpadlo tvoří rozhraní mezi nízko a vysokotlakou částí. Jeho úkolem je vždy dodávat dostatek stlačeného paliva ve všech provozních stavech po celou dobu životnosti vozidla. Do toho se počítá i příprava rezervy paliva, která je nutná pro rychlý start motoru a prudký nárůst tlaku. Vysokotlaké čerpadlo vytváří trvale systémový tlak pro vysokotlaký zásobník (Rail). Proto nemusí být stlačené palivo ve srovnání s obvyklým vstřikovacím systémem „vysoce stlačeno“ speciálně pro každý vstřik.“

Konstrukce

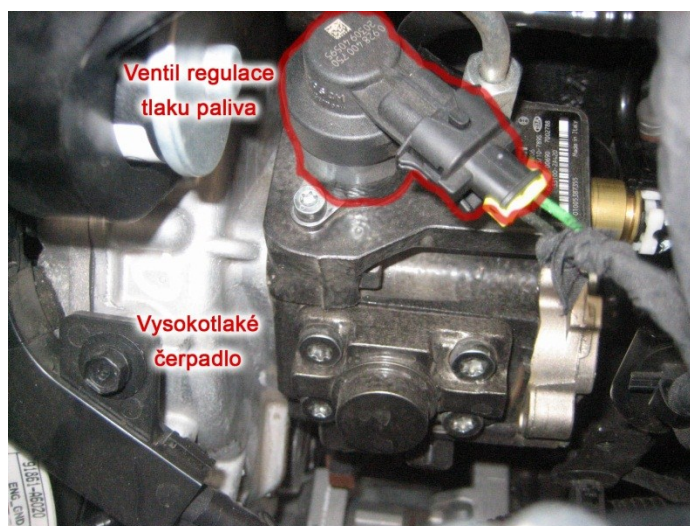
Vysokotlaké čerpadlo je na vznětovém motoru přednostně montováno na stejném místě jako konvenční rotační vstřikovací čerpadlo. Je poháněno od motoru přes spojku, ozubené kolo, řetězem nebo ozubeným řemenem s maximálně 3000 min^{-1} . Je mazáno palivem. “ [3]

Vůz je vybaven vstřikovacím čerpadlem Bosch CP1H3, viz obrázek 14.

2.3.4 Ventil regulace tlaku paliva

Podle hodnoty zatížení, otáček a dalších korekčních veličin je řídicí jednotkou vypočten požadovaný tlak v zásobníku paliva. Regulace tlaku paliva ve vysokotlakém okruhu je realizována pomocí ventilu regulace tlaku paliva. Ventil se otevírá a přivírá v závislosti na odchylce skutečného tlaku v zásobníku od požadovaného tlaku (vypočtený řídicí jednotkou motoru).

Ventil je elektromagnetický a je řízen přímo řídicí jednotkou motoru PWM řídicím napětím. Ventil je umístěn přímo na vysokotlakém čerpadle, viz obrázek 14.

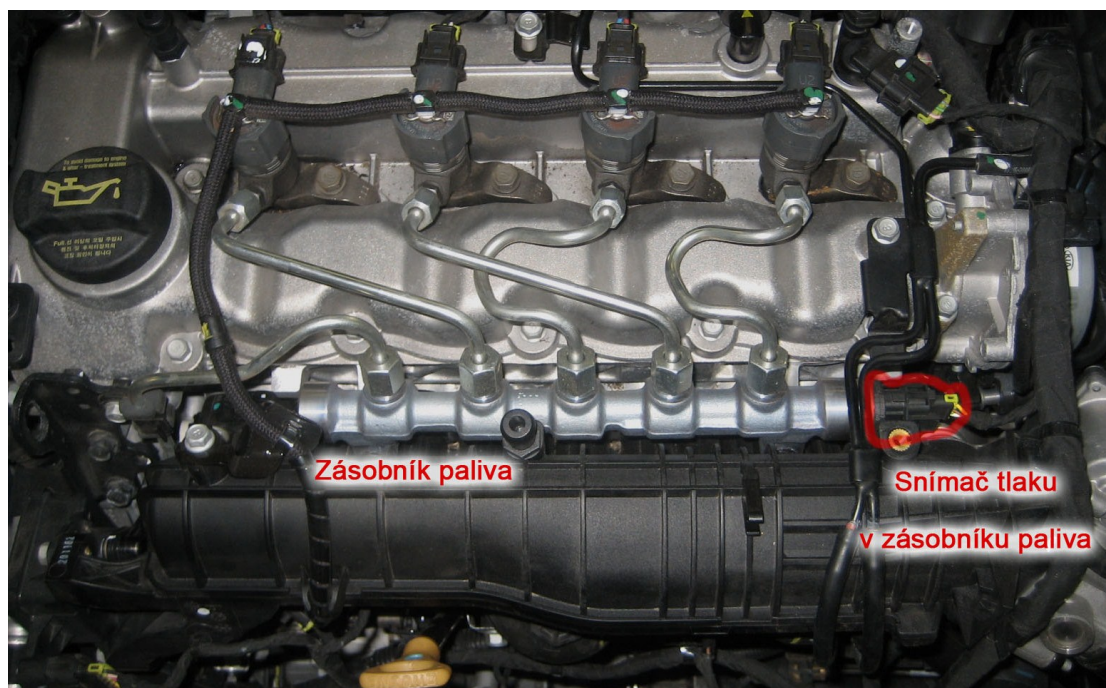


Obrázek 14 – Vysokotlaké čerpadlo a ventil regulace tlaku paliva

2.3.5 Snímač tlaku v zásobníku paliva (Rail)

Snímač tlaku v zásobníku paliva (Rail) je velmi důležitý snímač, protože na základě informace o tlaku v zásobníku se vypočítává doba vstřiku. Tlak v zásobníku paliva může dosahovat hodnot až 160MPa, proto při nefunkčnosti snímače není možné motor z bezpečnostních důvodů nastartovat.

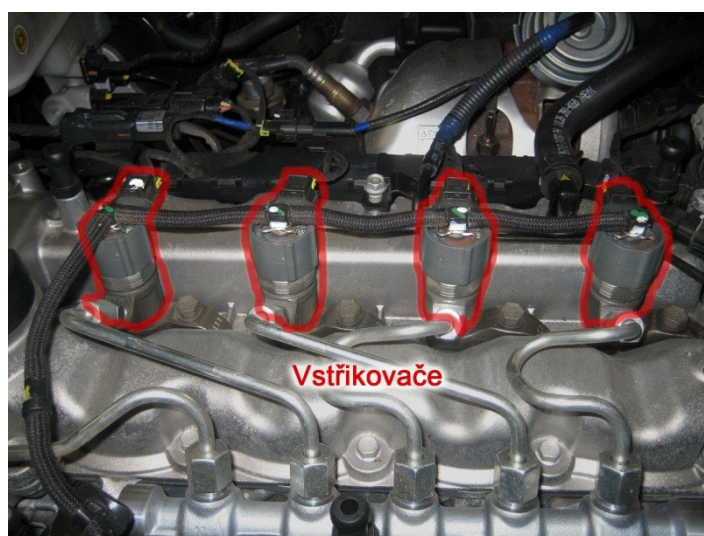
Snímač je umístěn na konci zásobníku paliva, viz obrázek 15.



Obrázek 15 - Snímač tlaku v zásobníku paliva

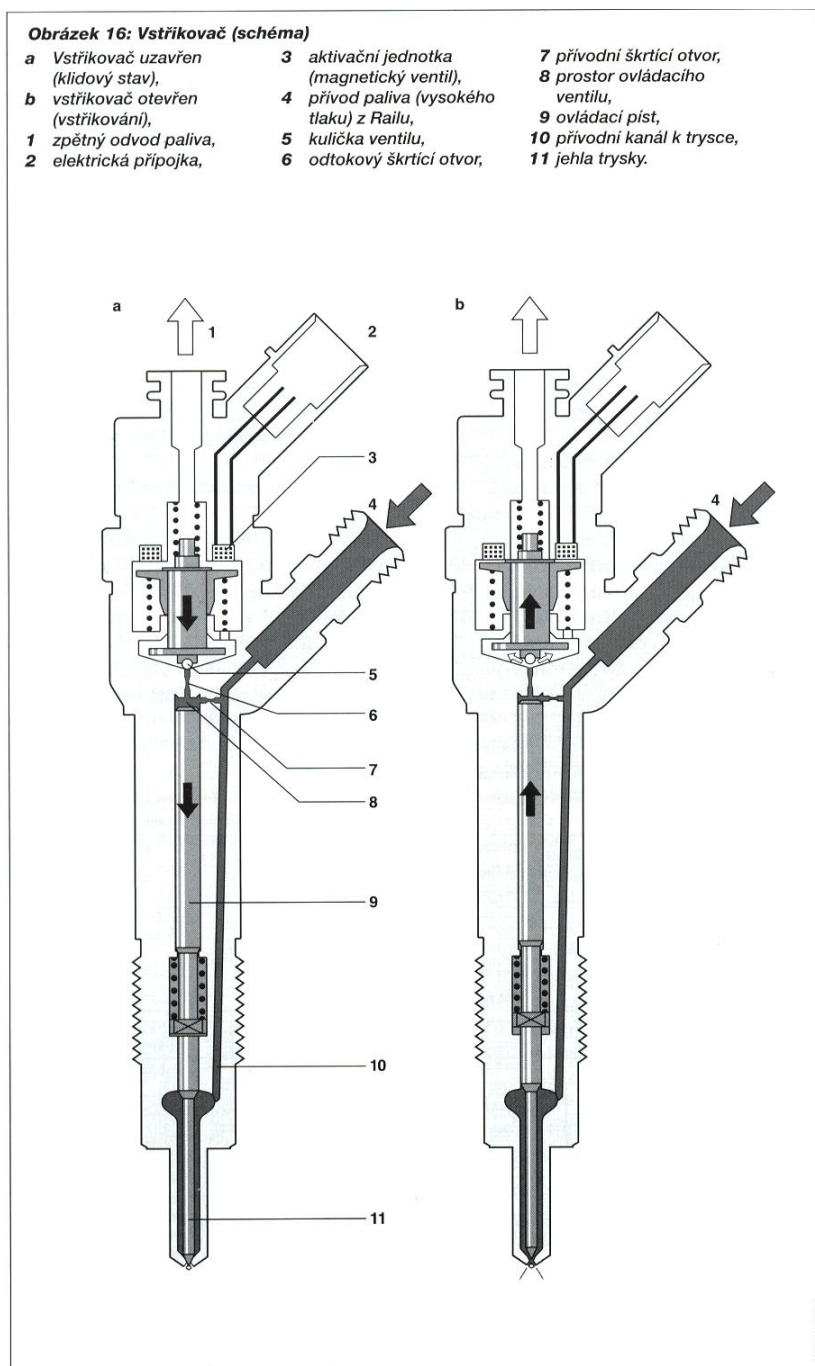
2.3.6 Vstřikovače

Vstřikovače zajišťují vstřikování nafty do prostoru válce v přesně daný okamžik a v přesně definovaném množství. Stanovení doby vstřiků a výpočet vstřikovaného množství paliva provádí řídicí jednotka motoru. Řídicí jednotka zároveň z vypočteného množství paliva vypočítává dobu vstřiku tedy dobu, po kterou má být vstřikovač otevřen. Pro výpočet doby vstřiku jsou nejdůležitějšími údaji vypočtené požadované množství paliva (závisí na aktuálním požadavku na krouticí moment) a tlak v zásobníku paliva. Na základě tlaku v zásobníku paliva dokáže řídicí jednotka stanovit průtok paliva tryskou za sekundu. Dalším faktorem, který ovlivňuje dobu vstřiku, je hodnota teploty paliva, protože se změnou teploty se mění i hustota paliva.



Obrázek 16 – Vstřikovače

Ve voze jsou vysokotlaké vstřikovače systému Common Rail, které pracují s tlakem až 160MPa. Díky vysokému tlaku paliva je dosaženo u systémů Common Rail snížení emisí výfukových plynů, hluku a spotřeby paliva oproti starším vstřikovacím systémům. Vstřikovače jsou otevírány pomocí elektromagnetického ventilu (tzv. solenoidové vstřikovače). Na obrázku 17 je zobrazen řez solenoidovým vstřikovačem a jsou zde popsány jednotlivé části.



Obrázek 17 – Řez solenoidovým vstřikovačem [3]

„Vstřikovač uzavřen (klidový stav):

Magnetický ventil není v klidovém stavu aktivován a tím je uzavřen (obr. 16a). Když je odtoková škrťací tryska uzavřena, je kulička kotvy tlačena ventilovou pružinou do sedla

odtokové škrtkící trysky. V prostoru ovládacího ventilu naroste vysoký tlak Railu. Stejný tlak nastoupá také v tlakové komoře trysky. Síla, působící tlakem Railu na čelní plochu ovládacího pístu a síla pružiny vstřikovače drží zavřenou jehlu trysky proti otevírací síle, která působí na její tlakový kužel.

Vstřikovač otevírá (začátek vstřiku):

Vstřikovač se nachází v klidové poloze. Magnetický ventil je aktivován takzvaným otevíracím (záběrovým) proudem, což slouží k rychlému otevření magnetického ventilu (obr. 16b). Síla nyní aktivovaného elektromagnetu překoná sílu pružiny ventilu a kotva otevře odtokový škrtkící otvor. V nejkratším čase je zvýšený odskokový proud snížen na menší udržovací proud elektromagnetu. To je možné, protože vzduchová mezera v magnetickém obvodu je nyní menší. Otevřením odtokového škrtkícího otvoru může nyní palivo odtékat z prostoru ovládacího ventilu do nad ním ležící dutiny a zpětným vedením paliva do nádrže. Přívodní škrtkící tryska zamezuje úplnému vyrovnání tlaku a tlak v prostoru ovládacího ventilu klesá. To vede k tomu, že tlak v prostoru ovládacího ventilu je menší než v tlakové komoře trysky, který má ještě stále tlakovou úroveň Railu. Snížený tlak v prostoru ovládacího ventilu vede ke snížené síle na ovládací píst a vede k otevření jehly trysky. Vstřikování začíná.

Rychlost otevření jehly trysky určuje průtočný rozdíl přívodní a odtokové škrtkící trysky. Ovládací píst dosahuje svého horního dorazu a zůstává tam na palivovém polštáři. Polštář vznikne proudem paliva, který se nastaví mezi přívodním a odtokovým škrtkícím otvorem. Tryska vstřikovače je nyní plně otevřena a palivo je tlakem, který přibližně odpovídá tlaku v Railu, vstřikováno do spalovacího prostoru. Silové rozdělení na vstřikovací je podobné silovému rozdělení během otevírací fáze.

Vstřikovač zavírá (konec vstřiku):

Když už není magnetický ventil aktivován, tak je kotva stlačena silou pružiny ventilu dolů a kulička zavře odtokový škrtkící otvor. Kotva je provedena jako dvoudílná. V tomto případě je sice deska kotvy unášena dolů unášečem, může ale propružit dolů vratnou pružinou a tím nepůsobit žádnou dolů působící silou na kotvu a kuličku.

Uzavření odtokového škrtkícího otvoru se zvyšuje v ovládacím prostoru zase tlak jako v Railu přítokem přívodním škrtkícím otvorem. Toto zvýšení tlaku způsobuje zvýšení síly na ovládací píst. Tato síla z prostoru ovládacího ventilu a síla pružiny překročí nyní sílu z tlakové komory a jehla trysky se uzavře.

Rychlost zavření je určena průtokem přívodního škrťacího otvoru. Vstřikování končí, když jehla trysky opět dosáhne svého dolního dorazu.“ [3]

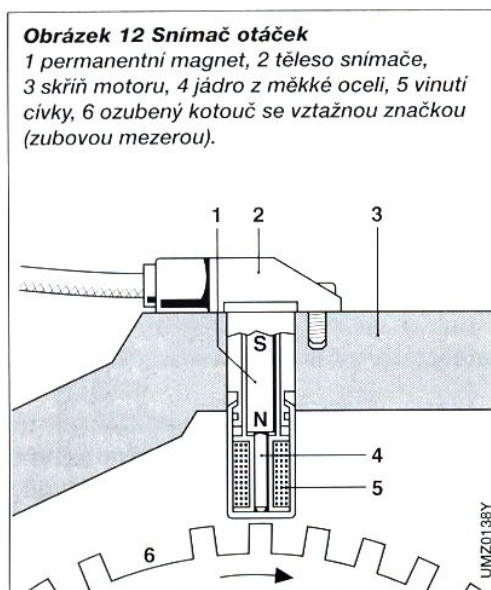
2.4 Ostatní snímače a akční členy nezbytné pro řízení motoru

Do tohoto pod systému jsou zařazeny všechny ostatní snímače, které se podílí na řízení motoru a nespádají do soustavy dopravy vzduchu a spalín ani do soustavy dopravy paliva.

2.4.1 Snímač otáček klikového hřídele

Snímač otáček klikového hřídele je důležitý snímač, který dává řídicí jednotce informaci a rychlosti otáčení motoru a úhlu jeho aktuálního natočení. V závislosti na aktuálním úhlu natočení motoru je rozpoznán bod, kdy má být poslán vstřikovací impuls do vstřikovačů.

Snímač otáček klikového hřídele je indukční snímač umístěn naproti kolu setrvačníku. Snímač je tvořen z jádra a kolem něj omotané cívky. Snímač je namířen proti kolu setrvačníku, na kterém jsou zuby z feromagnetického materiálu. Když se kolo setrvačníku otáčí, v cívkce snímače se při každém průchodu zubu setrvačníku kolem snímače naindukuje napětí. Za zubem na setrvačníku následuje vzduchová mezera, která způsobuje pokles napětí na snímači. Díky identifikace zubů z náběžných hran signálu je možné počítat zuby, které má každý setrvačník pevně dané, a určit tak rychlost otáčení. Pro určení polohy je na setrvačníku vynechán zub nebo je změněna rozteč dvou zubů a tím je vytvořena „mezera“ v naměřeném průběhu. Tato „mezera“ indikuje přesně danou pozici prvního válce. Schématické zobrazení indukčního snímače otáček je na obrázku 18.



Obrázek 18 – Schéma indukčního snímače otáček [4]

2.4.2 Snímač otáček vačkového hřídele

Snímač polohy vačkového hřídele dává řídicí jednotce informaci o úhlu natočení vačkového hřídele, který se oproti klikovému hřídeli otáčí dvakrát pomaleji. Informace o poloze vačkového hřídele je pro řídicí jednotku motoru důležitá, protože řídicí jednotka nedokáže ze signálu snímače otáček klikového hřídele určit, zda válec, který dosáhl dolní úvratě, půjde do doby výfuku nebo komprese. Proto nelze pouze z úhlu natočení klikového hřídele určit, zda má pro daný válec následovat vstřík nebo ne. Tuto informaci poskytuje řídicí jednotce právě snímač vačkového hřídele, který zaznamenává celý 720° cyklus vznětového motoru.

Snímač polohy vačkového hřídele ve voze využívá pro snímání otáček Hallova jevu.

„Snímač je tvořen prvkem, jehož polovodičovou destičkou protéká elektrický proud. Tento prvek je řízen clonkou, která se otáčí spolu s vačkovým hřídelem. Clonka je zhotovena z feromagnetického materiálu a během jejího otáčení dochází k přerušování permanentního magnetického pole a v Hallově prvku se tak vytváří napětí, které je kolmé vůči směru magnetického toku.“[4]

2.4.3 Snímač teploty chladicí kapaliny

Snímač teploty chladicí kapaliny je víceméně snímačem teploty motoru. Údaj o teplotě chladicí kapaliny respektive motoru ovlivňuje dobu žhavení. Tzn. čím je motor studenější, tím déle žhavení probíhá. Po nažhavení a nastartování motoru se motor snaží co nejdříve dosáhnout provozní teploty, proto je tvorba směsi ve válci korigována i hodnotou teploty chladicí kapaliny. Pokud teplota motoru dosáhne vysoké úrovně, zapíná se chlazení motoru větráky.

Snímač teploty chladicí kapaliny je realizován NTC termistorem. NTC termistor s rostoucí teplotou snižuje svůj odpor, čímž se snižuje i napětí na výstupu ze snímače, protože snímač bývá napájen konstantním proudem.

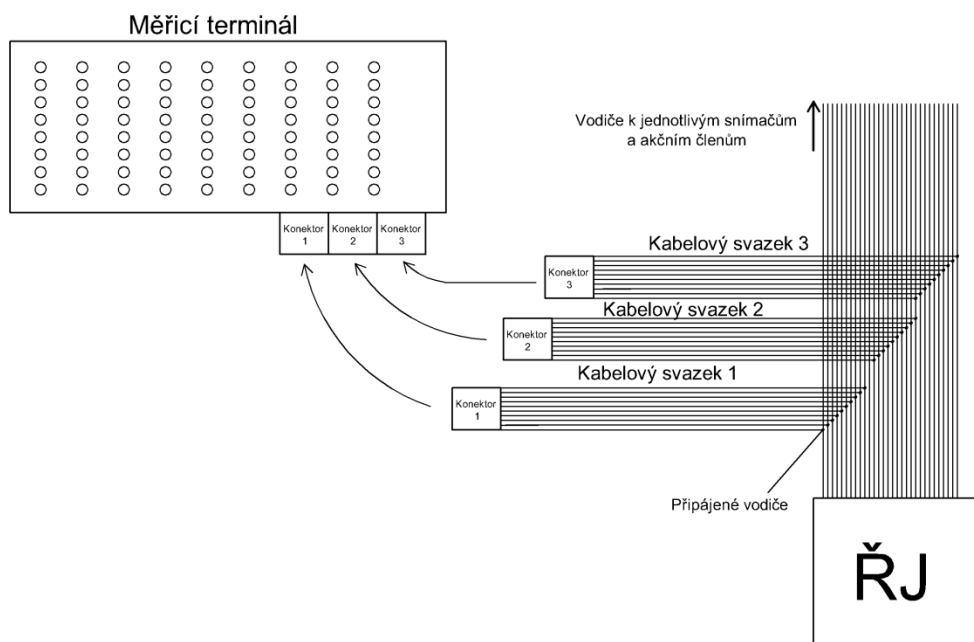
3 Praktická realizace a ověření

3.1 Měřicí terminál

Hlavním úkolem této bakalářské práce je návrh a praktická realizace měřicího terminálu. Pomocí měřicího terminálu je možné se snadno a rychle připojit k vybraným snímačům a akčním členům spadajícím pod řídicí jednotku motoru a měřit na nich průběh napětí.

3.1.1 Návrh terminálu

Měřicí terminál je navržen jako snadno odpojitelný a demontovatelný box. Připojením k vybraným snímačům a akčním členům je pomocí 3 kabelů s konektory D-Sub DB (25 pinový Canon konektor). Vodiče kabelů jsou k vodičům snímačů a akčních členů připájeny paralelně („T odbočka“), viz obrázek 19. Díky připojení kabelů paralelně ke snímačům není vozidlo závislé na připojení terminálu a je schopné provozu i bez připojeného terminálu. Připojovací kabely k terminálu č. 1 a č. 3 jsou zapojeny do konektoru D-Sub DB samice a kabel č. 2 je zapojen do D-Sub samce konektoru. Specifikace zapojení jednotlivých vodičů kabelů a konektorů je popsána v příloze B.



Obrázek 19 – Připojení vodičů k jednotlivým snímačům a akčním členům

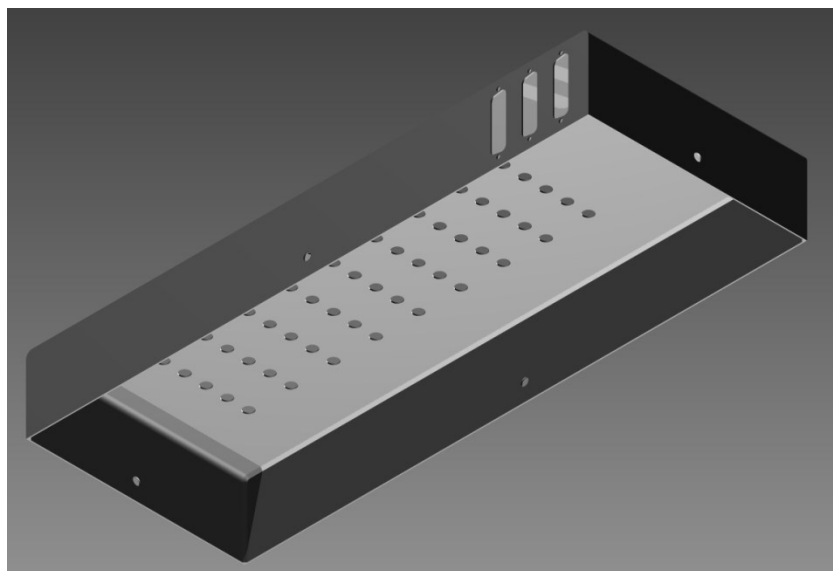
3.1.2 Výroba terminálu

Jelikož motorový prostor ve vozidle ani po odstranění plastového krytu motoru neposkytoval dostatek prostoru pro instalaci běžně dostupných plastových a kovových boxů, bylo nutné vytvořit terminál na míru. Limitními parametry, kvůli kterým nebylo možné pořídit box odpovídajících rozměrů, byla délka a výška. Délka musela být minimálně 440 mm, aby bylo možné box uchytit s využitím děr se závity na motoru. Výška nesměla překročit 61 mm, protože by již nebylo možné zavřít kapotu. Jako nejvhodnější místo pro instalaci terminálu byl vybrán prostor nad motorem, který poskytoval dostatečnou plochu pro vyvedení potřebného počtu svorek a navíc zde byly i díry se závity pro připevnění terminálu. Díry se závity zde původně sloužily pro uchycení plastového krytu motoru.

Rozměry terminálu byly s ohledem na zástavbový prostor a umístění úchytných bodů stanoveny na 450x175x60 mm (d x š x v). Kvůli umístění terminálu nad motorem a v blízkosti turbodmychadla byl pro tvorbu terminálu zvolen ocelový plech. V této oblasti bude terminál vystavován mírně zvýšené teplotě, tudíž při použití plastu k výrobě terminálu by došlo k jeho deformaci vlivem zvýšené teploty. Při delším měření na místě s běžícím motorem je doporučeno použít chlazení motorového prostoru větrákem.

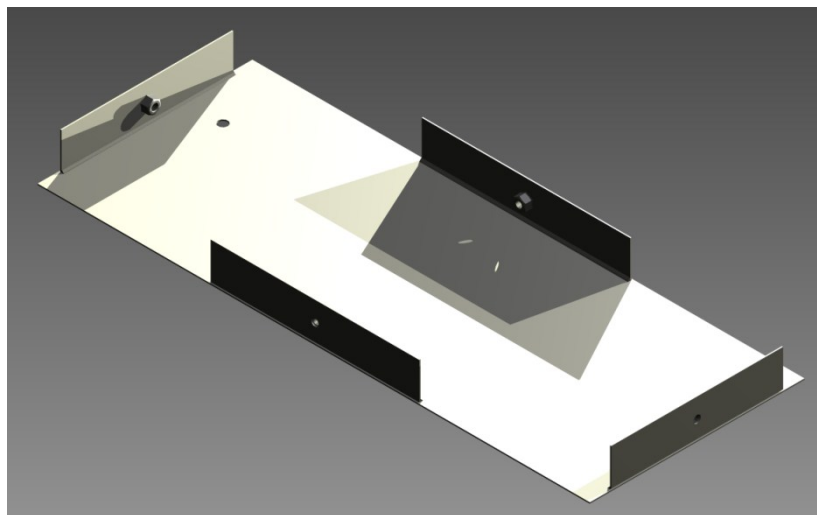
Terminál je složen ze dvou částí a to z horního svařence (viz obrázek 20) a spodního svařence (viz obrázek 21), které se spojují 4 šroubovými spoji. Díly terminálu byly vyřezány z plechu o tloušťce stěny 1mm.

Horní svařenec se skládá z horního dílu (výkres viz příloha A-1), ke kterému jsou přivařeny dvě bočnice dle výkresu, viz příloha A-6. V horním díle je vyvrtáno dle výkresu, viz příloha A-1, 61 děr pro zdířky na horní straně a 2 díry v bočních stranách pro uchycení horního svařence ke spodnímu svařenci pomocí šroubových spojů. V přední bočnici jsou vyřezány otvory a vyvrtány díry pro uchycení D-Sub DB konektorů a jedna díra pro uchycení horního svařence ke spodnímu dle výkresu, viz příloha A-3. V zadní bočnici je vyvrtána pouze díra pro uchycení, viz příloha A-3.



Obrázek 20 – Horní svařenec terminálu (model)

Spodní svařenec je složen ze spodního dílu, 4 držáků matek a 4 matek. Držáky matek jsou plechy daných rozměrů s dírou na které je navařená matka, rozměry držáků jsou specifikovány v příloze A-4. Úkolem držáku matek je spojení horního a spodního svařence pomocí šroubového spojení skrze díry v horním svařenci. Držáky matek jsou přivařeny ke spodnímu dílu dle výkresu v příloze A-7. Ve spodním dílu jsou vyvrtány dvě díry (viz příloha A-2) pro ochycení terminálu k motoru pomocí distančních sloupků. Distanční sloupky byly vyrobeny dle výkresu v příloze A-5, aby rozměry odpovídaly potřebnému odsazení terminálu od motoru.



Obrázek 21 – Svařenec spodního dílu (model)

Po svaření všech částí terminálu byl terminál nalakován univerzální šedou barvou a díry horního dílu byly osazeny měřicími zdířkami dle schématu, viz příloha C-1. Pro lepší přehlednost se barvy měřicích zdířek střídají s jednotlivými snímači a akčními členy, které reprezentují. Po osazení měřicích zdířek byly osazeny D-Sub DB konektory do čelní bočnice a dle popisu zapojení, viz přílohy B-1,2,3 a C-1, byly propojeny jednotlivé piny

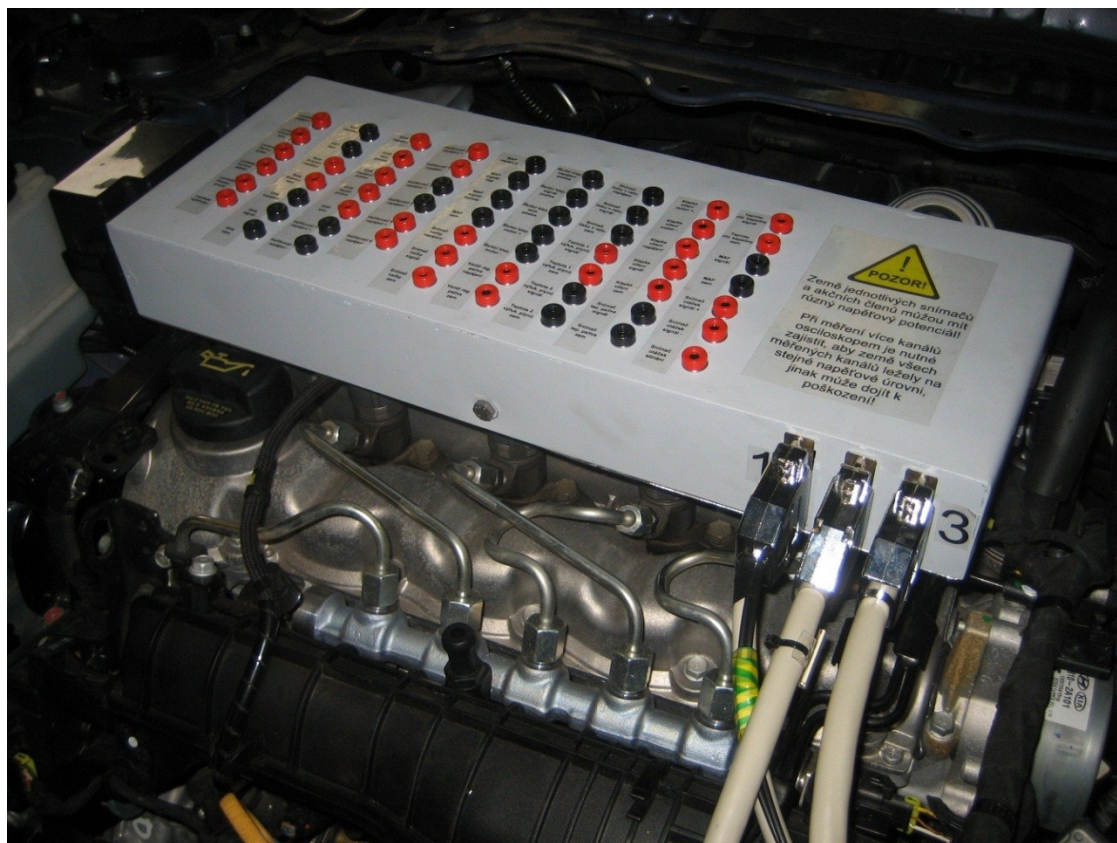
konektorů s příslušnými měřicími svorkami. Jednotlivé vodiče jdoucí z vnitřních D-Sub konektorů zůstaly v boxu pro případnou opravu polepeny popisky ve formátu x/yy, kde x je číslo konektoru a yy je číslo pinu konektoru. Po propojení byly jednotlivým měřicím svorkám přiděleny popisky pro snadnou a rychlou identifikaci jednotlivých svorek při měření, viz příloha C-2.

3.1.3 Instalace terminálu do vozidla

Po připojení terminálu vůz normálně fungoval. Při vyčtení paměti závad sériovou diagnostikou nebyly zjištěny žádné závady a signál na příslušných měřicích svorkách terminálu odpovídal signálu, který byl změřen před zásahem do vozidla na daných snímačích a akčních členech. Instalovaný terminál na voze je zobrazen na obrázcích 22 a 23.



Obrázek 22 – Instalovaný terminál ve vozidle



Obrázek 23 – Detail měřicího terminálu ve vozidle

3.2 Experimentální ověření realizovaného terminálu

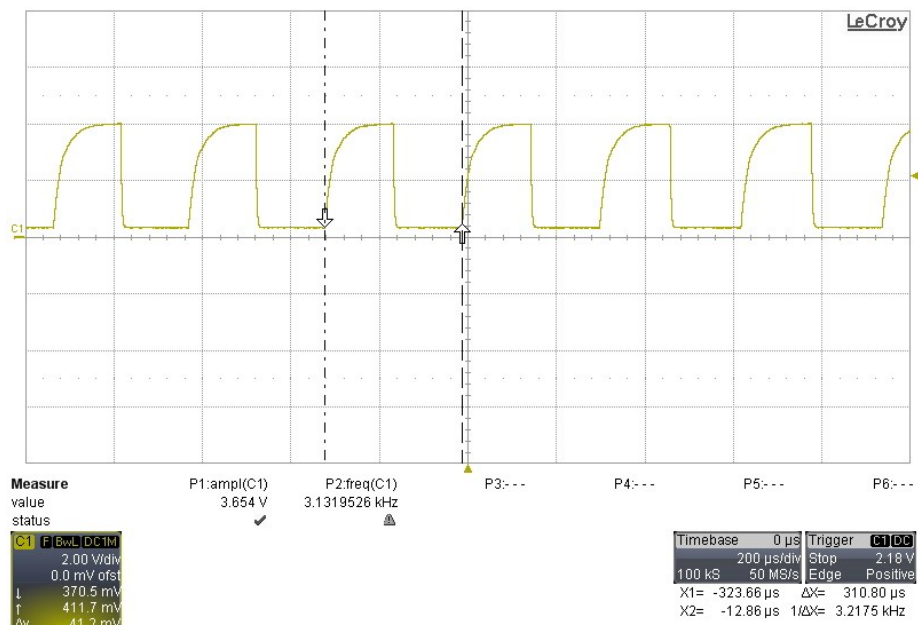
V této podkapitole budou vybrané snímače a akční členy proměřeny pomocí osciloskopu LeCroy WaveRunner 44Xi-A (dále jen osciloskop LeCroy) a motortesteru Bosch FSA 740 (dále jen motortester FSA) a jednotlivé průběhy budou okomentovány. Příslušenství motortesteru Bosch FSA 740 zahrnuje dvoukanálový osciloskop, měření tlaku, modul sériové diagnostiky KTS, diagnostický software ESI[Tronic] a mnoho dalších komponentů, které ale nebyly v rámci této práce použity k měření.

3.2.1 Snímač hmotnosti vzduchu

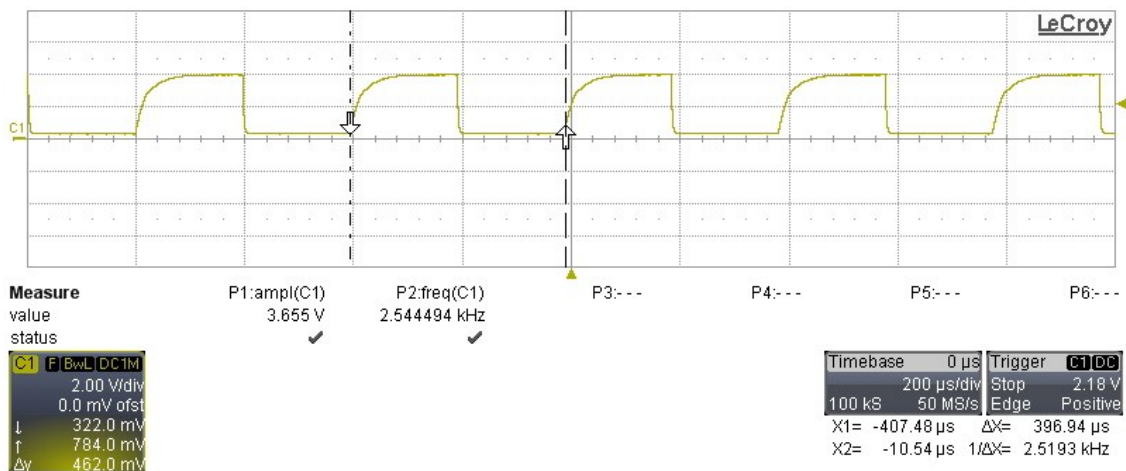
Snímač hmotnosti vzduchu (zkratka MAF – mass airflow) poskytuje řídicí jednotce informaci o množství nasávaného vzduchu. Množství nasávaného vzduchu je důležité pro výpočet vstřikovaného množství paliva a otevření EGR ventilu. Snímač hmotnosti vzduchu, kterým je vůz vybaven, je typ HFM 6 firmy Bosch, která předává informaci o množství nasávaného vzduchu pomocí frekvence. Předávání informace o hmotnosti vzduchu pomocí frekvence je změnou oproti starším typům snímačů hmotnosti vzduchu, které předávaly informaci pomocí velikosti výstupního napětí. Snímač je připojen pomocí

5 vodičů, nicméně v terminálu jsou vyvedeny pouze 2 vztahující se k měření výstupního signálu snímače.

Měření signálu hmotnosti vzduchu pomocí osciloskopu LeCroy



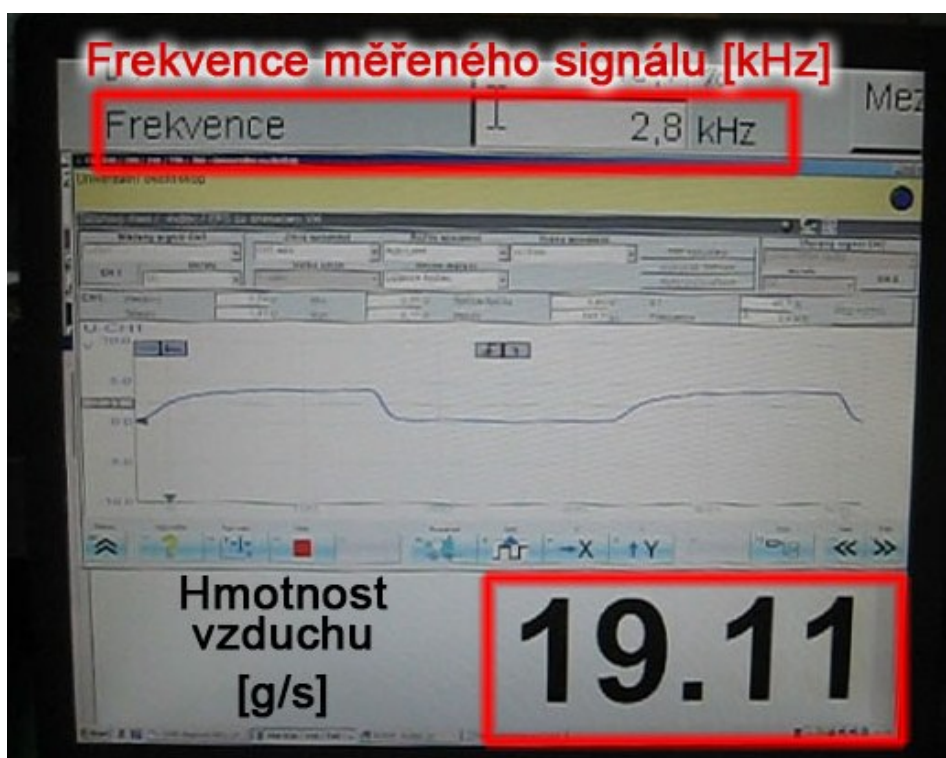
Obrázek 24 – Signál snímače hmotnosti vzduchu 1 (svorky „MAF signál“ a „MAF zem“)



Obrázek 25 – Signál snímače hmotnosti vzduchu 2 (svorky „MAF signál“ a „MAF zem“)

Na obrázku 24 je vidět průběh výstupního napětí při prudkém sešlápnutí plynu. Na obrázku 25 je průběh napětí při volnoběhu. Z porovnání signálů obou obrázků lze konstatovat, že amplituda signálu se nemění (amplituda stagnuje na 3,65 V) a mění se frekvence. Velikost frekvence roste s rostoucím průtokem vzduchu. Na základě tohoto zjištění byla zhotovena převodní charakteristika hmotnosti vzduchu [g/s] na frekvenci [kHz] signálu snímače. Převodní charakteristika byla vypracována za pomoci paralelního běhu osciloskopu na motortesteru FSA, kde byla měřena frekvence signálu, a sériové

diagnostiky, pomocí které byla vyčítána aktuální hodnota hmotnosti vzduchu z řídicí jednotky, viz obrázek 26.

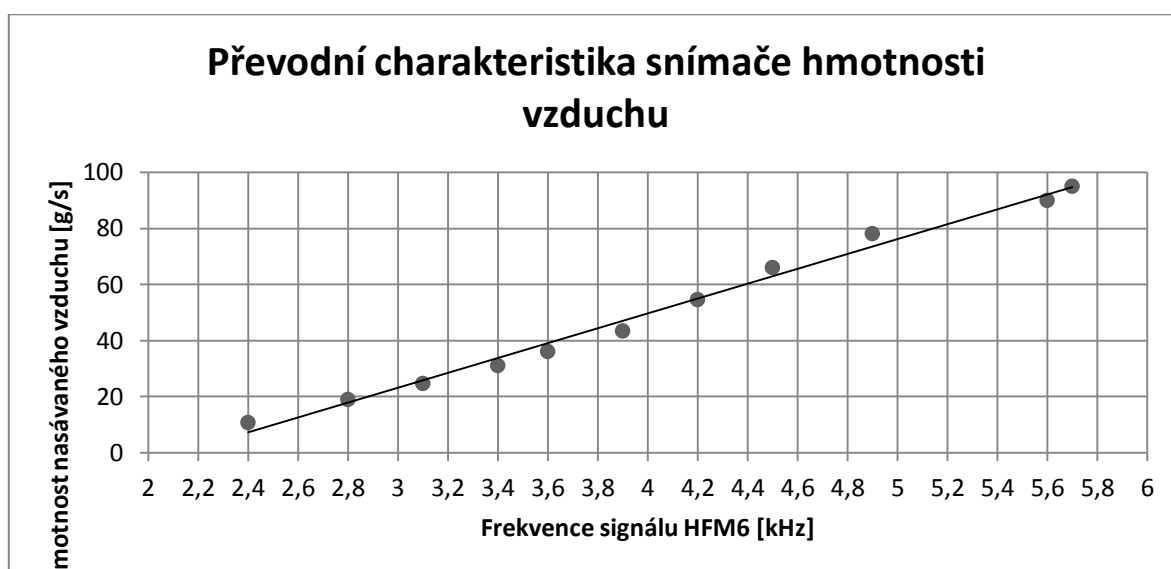


Obrázek 26 – Měření převodní charakteristiky snímače hmotnosti vzduchu

Převodní charakteristika je zapsána v tabulce 6 a zobrazena v obrázku 27.

Tabulka 6 – Převodní charakteristika snímače hmotnosti vzduchu

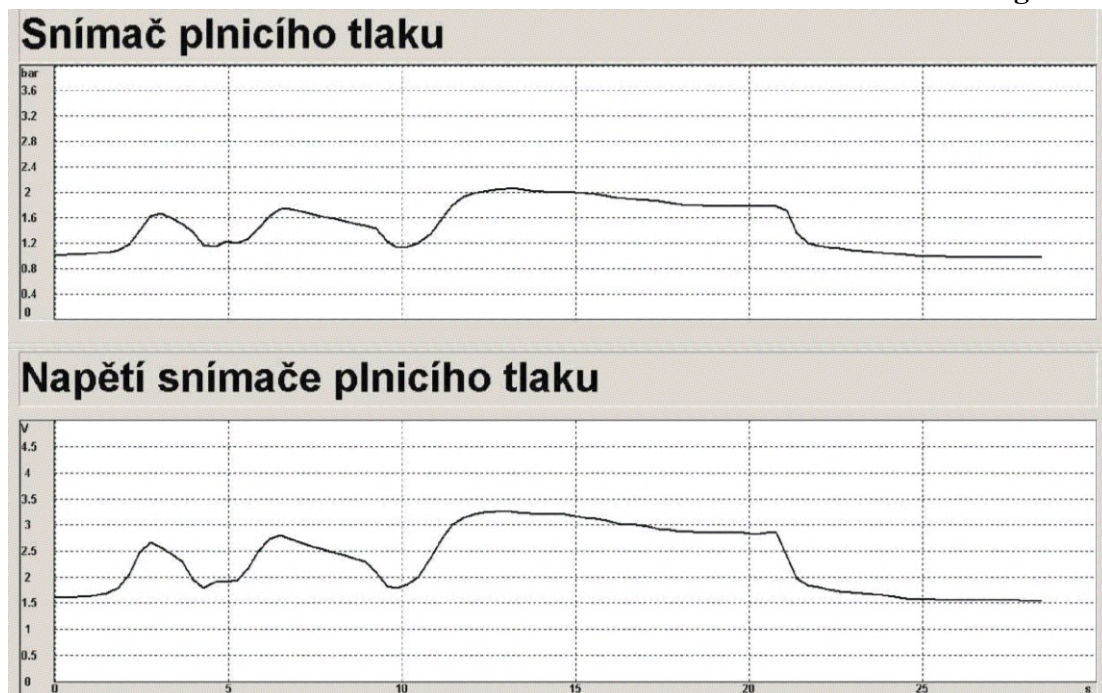
Naměřená frekvence [kHz]	Hmotnost nasávaného vzduchu [g/s]
2,4	10,8
2,8	19
3,1	24,7
3,4	31
3,6	36
3,9	43,5
4,2	54,5
4,5	66
4,9	78
5,6	90
5,7	95



Obrázek 27 – Graf převodní charakteristiky snímače hmotnosti vzduchu

3.2.2 Snímač plicního tlaku

Snímač plicního tlaku (zkratka MAP – manifold air pressure) měří velikost tlaku a teploty vzduchu v sacím potrubí. Výstupní informace ze snímače slouží k regulaci plicního tlaku, která je prováděna pomocí ventilu regulace plicního tlaku. Snímač je připojen 4 vodičově – napájení, signál tlaku, signál teploty a zem. Informace o velikosti tlaku je předávána pomocí velikosti výstupního napětí. Měření teploty je ve snímači realizováno pomocí NTC termistoru, jehož odpor se mění v závislosti na teplotě. Pomocí sériové diagnostiky byla změřena závislost výstupního napětí snímače na plicním tlaku.



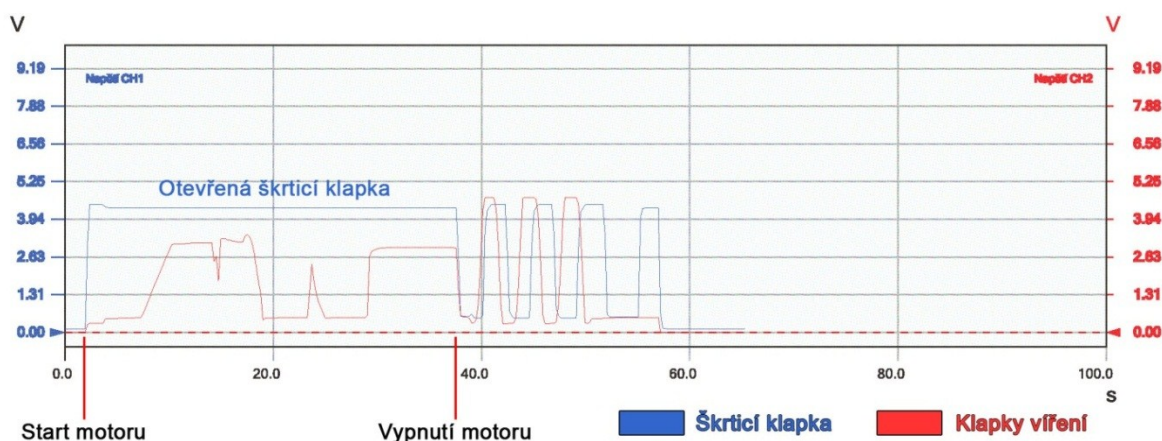
Obrázek 28 Snímač plnicího tlaku – závislost napětí snímače na plnicím tlaku

Z průběhu lze vyčíst, že hodnota napětí při plnicím tlaku 1 bar, což je tlak při volnoběhu, kdy motor není přeplňován, je zhruba 1,55 V. S rostoucím tlakem, který roste v závislosti na zatížení vozidla, roste téměř lineárně i velikost napětí na snímači. Při maximálním plnicím tlaku zhruba 2,1 baru, který byl při měření dosažen, bylo výstupní napětí snímače plnicího tlaku zhruba 3,25 V. Výstupní napětí snímače by se tedy při správné funkci mělo pohybovat zhruba v rozmezí 1,55 V při volnoběhu až 3,25 V při maximálním plnicím tlaku (za předpokladu, že maximální plnicí tlak je 2,1 baru). Pokud se hodnoty výstupního napětí při stejném plnicím tlaku liší, jde o poruchu snímače a je nutná jeho výměna.

3.2.3 Škrticí klapka

Škrticí klapka má za úkol otevírat a zavírat průtočný průměr sacího potrubí. Ovládání klapky je pomocí servomotoru, který je řízen řídící jednotkou motoru. Konektor škrticí klapky má 5 vodičů, 2 vodiče jsou pro řízení servomotoru a zbylé 3 vodiče jsou pro snímač polohy škrticí klapky. Snímač polohy je realizován pomocí potenciometru (napájení potenciometru, signál potenciometru a zem). Pomocí osciloskopu motortesteru FSA byl zaznamenán průběh napětí na snímači polohy škrticí klapky.

Měření na snímače polohy škrticí pomocí osciloskopu motortesteru FSA



Obrázek 29 – Průběh napětí na snímači polohy škrticí klapky (svorky „Škrticí klap. signál pozice“ a „Škrticí klap. zem pozice“)

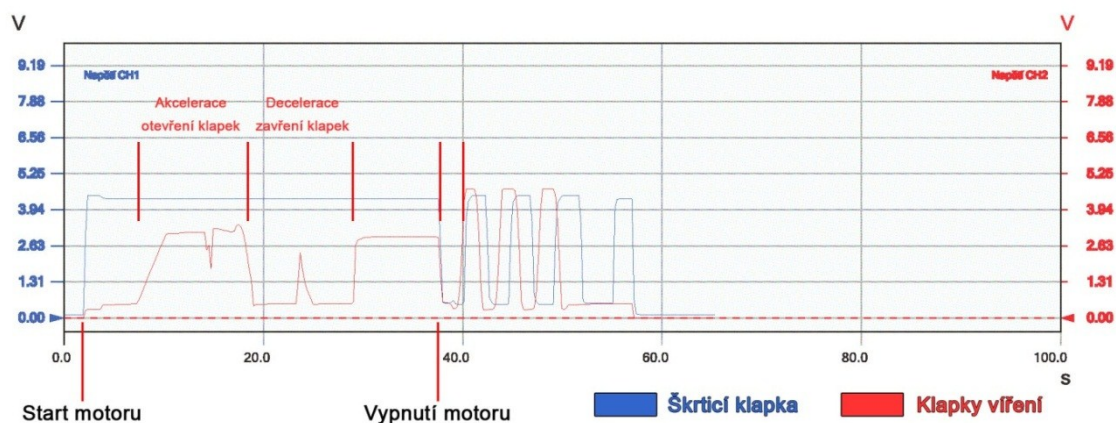
Na obrázku 29 je zaznamenán průběh napětí na snímači polohy škrticí klapky při měření, kdy byl vůz nejprve nastartován, poté proběhla třikrát akcelerace a nakonec byl motor vypnut. Z průběhu vyplývá, že před nastartováním motoru je škrticí klapka zavřená, čemuž odpovídá zhruba napětí 0,1 V na snímači pozice. Při startování se škrticí klapka úplně otevírá, čemuž odpovídá napětí na snímači pozice zhruba 4,4 V. Klapka zůstává plně otevřena po celou dobu chodu motoru bez ohledu na zatížení nebo otáčky. Po vypnutí motoru se škrticí klapka přivírá zhruba na hodnotu 0,5 V změřenou na snímači pozice a probíhá škrcení nasávaného vzduchu do motoru, aby bylo dosaženo rychlejšího zastavení vznětového motoru. Po zhasnutí motoru se klapka ještě 4 krát otevře a zavře, než zůstane zavřená. Význam tohoto otevírání a zavírání nebyl v době psaní práce přesně znám.

Pro diagnostiku stavu škrticí klapky jsou důležité hodnoty zhruba 0,1 V na snímači polohy při zavřené klapce, 4,4 V při běhu motoru a tedy plně otevřené klapce a 0,5 V při vypínání motoru. Pokud se hodnoty liší, jde o závadu a nefunguje servomotor, potenciometr nebo je klapka jinak fyzicky poškozena.

3.2.4 Klapky víření

Klapky víření se v závislosti na zatížení postupně otevírají a díky víření, které otevření klapky způsobuje, je dosaženo lepšího plnění válců a tím pádem i vyššího točivého momentu. Klapky víření jsou řízeny řídicí jednotkou pomocí servomotoru. Konektor aktuátoru vířivých klapek má 5 vodičů. 2 vodiče jsou pro řízení servomotoru a zbylé 3 jsou pro snímač polohy vířivých klapek, který je realizován pomocí potenciometru (napájení potenciometru, signál potenciometru a zem). Pomocí osciloskopu motortesteru FSA byl zaznamenán průběh napětí na snímači polohy klapky víření.

Měření na polohy klapek víření pomocí osciloskopu motortesteru FSA



Obrázek 30 – Průběh napětí na snímači polohy klapky víření (svorky „Klapka víření signál“ a „Klapka víření zem“)

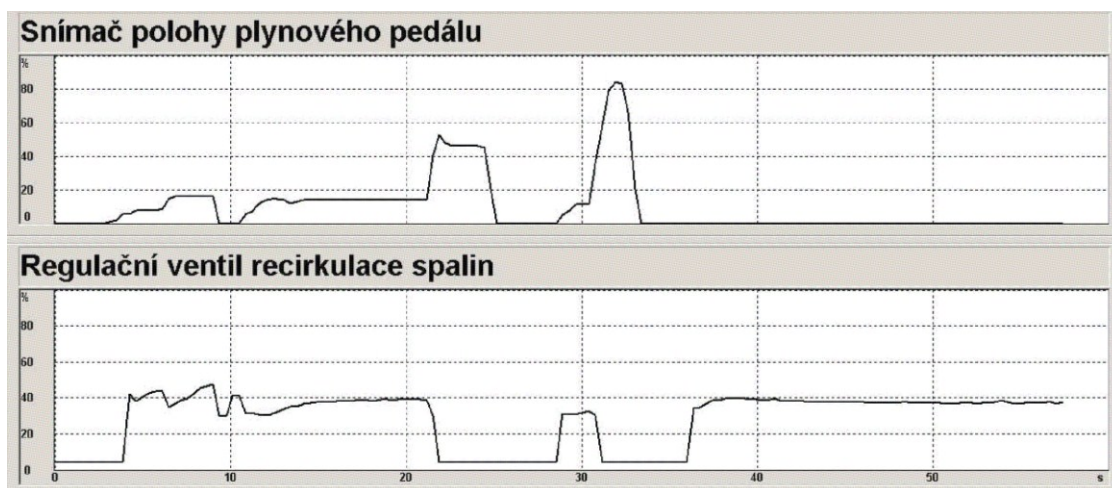
Na obrázku 30 je zaznamenán průběh napětí na snímači polohy klapky víření. Při vypnutém motoru jsou klapky víření zavřené, čemuž odpovídá napětí 0 V. Po nastartování motoru se klapky víření mírně otevírají zhruba na napětí 0,5 V na snímači polohy při volnoběhu. Při akceleraci se klapky postupně otevírají v závislosti na zatížení. Hodnota napětí na snímači polohy při měření dosáhla maximální hodnoty zhruba 3,5 V, ale tato hodnota se při větším zatížení může pravděpodobně i zvýšit. Při deceleraci se klapky postupně přivírají až na hodnotu napětí zhruba 0,5 V na snímači polohy, která je typická pro volnoběh. Po vypnutí motoru se klapky přivřou a poté se 3 otevřou a zavřou, než dojde k jejich úplnému zavření. Význam tohoto otevírání a zavírání nebyl v době psaní práce přesně znám.

Pro diagnostiku stavu klapky jsou důležité hodnoty 0 V na snímači polohy při zavřených klapkách, zhruba 0,5 V při volnoběhu motoru a rostoucí napětí od 0,5 V dle zatížení. Pokud napětí na snímači neodpovídá nebo silně kolísá, může se jednat o závadu spojenou s konstrukcí klapky a systémem jejich ovládání, zakarbonování klapky, nefunkčnost servomotoru nebo nefunkčnost potenciometrického snímače polohy.

3.2.5 EGR ventil

EGR ventil je elektromagnetický ventil, který má za úkol přepouštět spaliny z motoru do sání. Ventil je s řídicí jednotkou motoru spojen pomocí 5 vodičů, 2 vodiče ovládají polohu kotvy elektromagnetu a zbylé 3 vodiče jsou připojeny k potenciometrickému snímači polohy kotvy elektromagnetu (napájení potenciometru, signál a zem). Pomocí modulu sériové diagnostiky KTS byla zaznamenána závislost průběhu polohy EGR ventilu na sešlápnutí plynového pedálu.

Měření závislosti otevření EGR ventilu na sešlápnutí plynového pedálu pomocí sériové diagnostiky



Obrázek 31 – Závislost otevření EGR ventilu na poloze plynového pedálu

Z obrázku 31 jde vidět, že při malém sešlápnutí plynového pedálu (v čase zhruba od 5. s do 20. s) je EGR ventil částečně otevřený a probíhá recirkulace spalin. Pokud ovšem dojde k většímu sešlápnutí pedálu plynu, viz zhruba 23. a 31. sekunda, dochází k uzavření EGR ventilu a k zastavení recirkulace spalin, aby mohl být dodán požadovaný točivý moment. Hodnota otevření EGR ventilu při volnoběhu je zhruba 40%, ale po zhruba minutě volnoběhu se otevření ventilu snižuje na zhruba 5%. Přesný důvod tohoto přivření EGR ventilu nebyl v době vypracování bakalářské práce znám.

Snímač polohy EGR ventilu má napěťový rozsah 0 V pro zavřený až zhruba 4,8 V pro plně otevřený ventil. Ovládání elektromagnetického ventilu je realizováno pomocí PWM řídicího napětí o daných vlastnostech.

Specifikace PWM řídicího napětí pro EGR ventil:

$$f = 140 \text{ MHz}$$

$$U = 12,7V$$

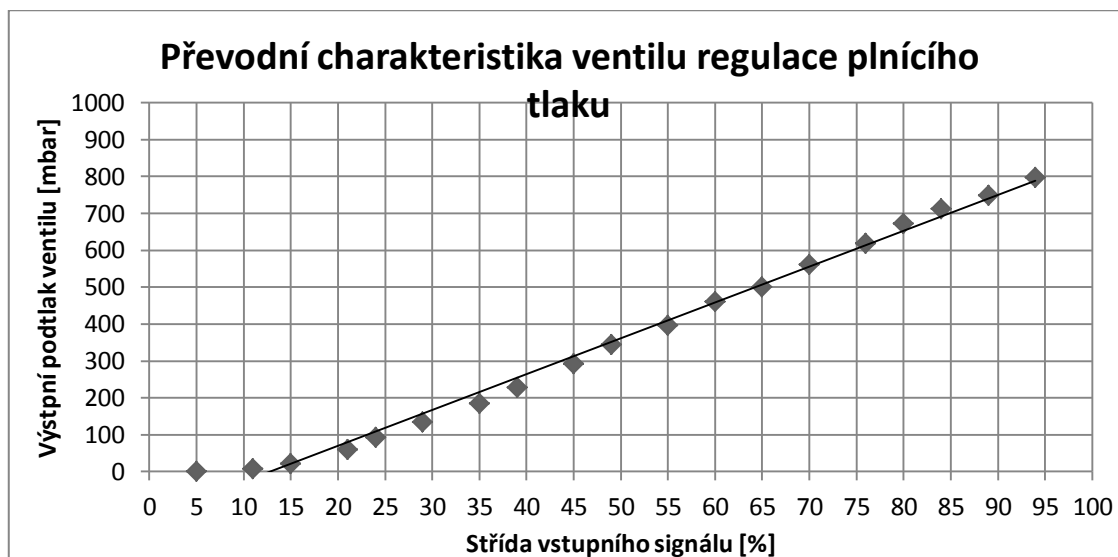
střída \cong procento otevření ventilu

3.2.6 Ventil regulace plnicího tlaku

Ventil regulace plnicího tlaku reguluje plnicí tlak nepřímo natáčením lopatek kolem turbíny turbodmychadla. Natáčení lopatek je realizováno pomocí pneumatického ventilu, který podle velikosti podtlaku natáčí lopatky skrze táhlo. Velikost podtlaku je řízena elektromagnetickým ventilem, který je ovládaný řídicí jednotkou motoru pomocí PWM napětí o frekvenci 295,5 Hz. Motortesterem FSA a PWM generátorem byla změřena převodní charakteristika ventilu.

Tabulka 7 – Převodní charakteristika elektromagnetického ventilu regulace plnicího tlaku

střída [%]	podtlak [mBar]
5	0
11	8
15	21
21	59
24	92
29	134
35	185
39	228
45	292
49	344
55	397
60	460
65	500
70	562
76	618
80	673
84	712
89	748
94	797



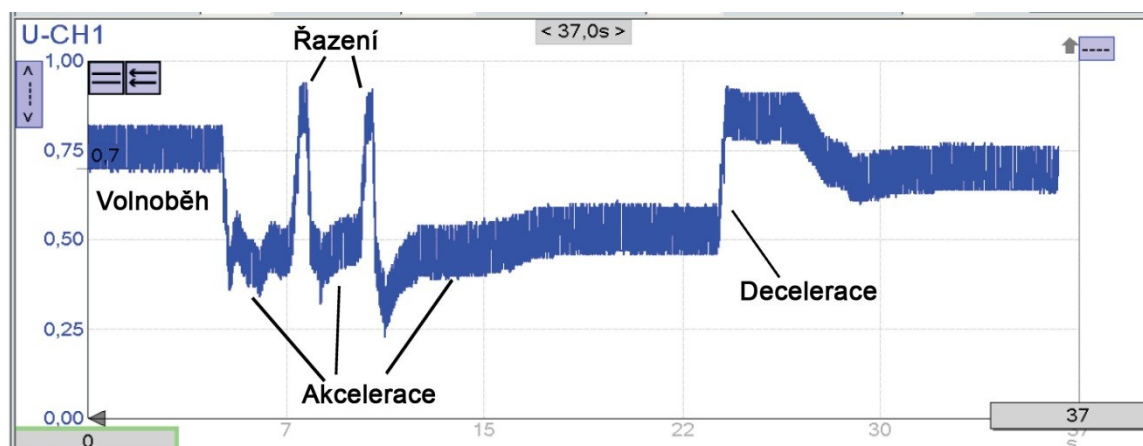
Obrázek 32 - Převodní charakteristika ventilu regulace plnicího tlaku

Z obrázku 32 je patrné, že od střidy zhruba 15% je závislost generovaného podtlaku ventilu na střídě PWM napětí téměř lineární. Velikost podtlaku řídí natáčení lopatek turbodmychadla tak, že při maximálním podtlaku (tj. při maximální střídě) jsou lopatky natočeny v turbodmychadle, aby zúžovaly průtočný průřez. Při zúženém průtočném průřezu je možné dosáhnout vysokého plnicího tlaku i při nízkých otáčkách motoru. Při zatížení odpovídá nízká střída vysokým otáčkám a vysoká střída nízkým otáčkám.

3.2.7 Širokopásmová lambda sonda

Širokopásmová lambda sonda měří hodnotu kyslíku ve spalínách před turbodmychadlem. Sonda je k řídicí jednotce připojena pomocí 6 vodičů a informace o hodnotě lambda je dána velikostí čerpacího proudu. Jelikož je pravděpodobně v řídicí jednotce nebo v sondě samotné předřadný odpor, je možné měřit tento čerpací proud jako úbytek napětí na zmíněném odporu. Pomocí osciloskopu motortesteru FSA byl změřen průběh napětí na signálovém výstupu lambda sondy při jízdě vozidla.

Měření signálu na lambda sondě pomocí osciloskopu motortesteru FSA



Obrázek 33 – Průběh napětí na širokopásmové lambda sondě (svorky „Lambda čerpací proud“ a „Lambda virtuální zem“)

Na obrázku 33 je vidět, že při volnoběhu napětí osciluje kolem hodnoty 0,75 V. Při prudké akcelpace se napětí pohybuje kolem hodnoty zhruba 0,45 V a lze předpokládat, že tato oblast reprezentuje „bohatou“ směs, i když v rámci vznětového motoru se pravděpodobně hodnota lambda nedostane pod hodnotu 1. Během řazení a decelerace se hodnota napětí pohybuje kolem hodnot zhruba 0,85 V a lze předpokládat, že tato oblast reprezentuje velmi chudou směs.

3.2.8 Snímače teploty

V rámci této podkapitoly budou pouze uvedeny typické hodnoty pro teplotní snímače vozidla, které byly změřeny, protože měření průběhů teploty je časově náročnou záležitostí. Snímače teploty chladicí kapaliny a paliva jsou tvořeny NTC termistorem, snímače teploty výfukových plynů jsou odporové kovové teplotní snímače.

Výstupní signál jednotlivých teplotních snímačů:

Snímač teploty chladicí kapaliny:

684 mV při volnoběhu, ukazatel teploty motoru na palubní desce 80 °C

Snímač teploty výfukových plynů 1:

3,29 V při zahřátém motoru ve volnoběhu

Snímač teploty výfukových plynů 2:

3,29 V při zahřátém motoru ve volnoběhu

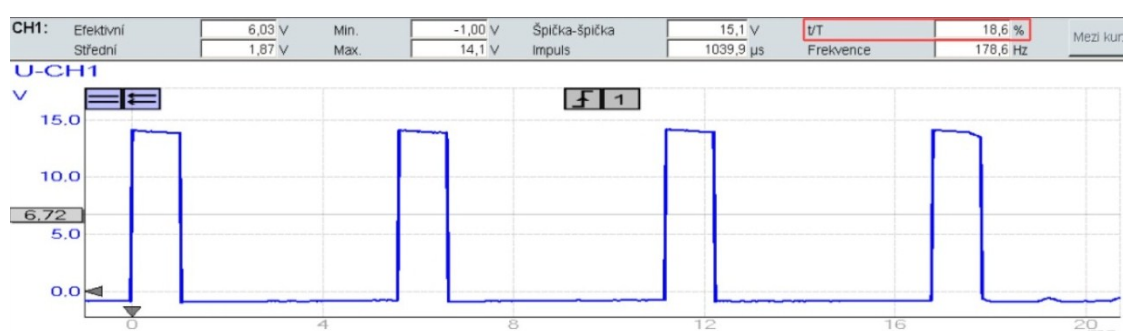
Snímač teploty paliva:

2,05 V při teplotě v laboratoři zhruba 20 °C

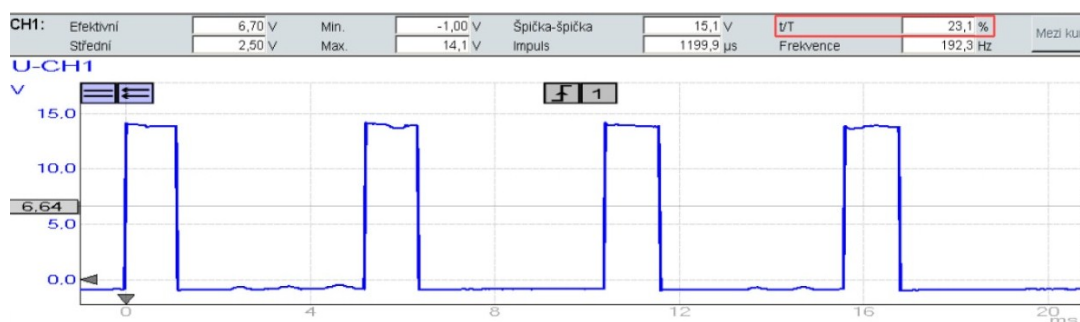
3.2.9 Ventil regulace tlaku paliva

Ventil regulace tlaku paliva má za úkol udržovat požadovaný tlak v zásobníku paliva. Pokud je tlak v zásobníku vyšší než požadovaný, ventil se více otevírá a odpouští přebytečný tlak. Jestliže je tlak nižší než požadovaný, ventil se přivírá a vysokotlaké čerpadlo zvyšuje tlak v zásobníku. Ventil je řízený řídicí jednotkou přes dva vodiče pomocí PWM napětí, přičemž střídou je nastavováno potřebné otevření ventilu. Ovládací signál ventilu by změřen pomocí osciloskopu motortesteru FSA.

Měření signálu ventilu regulace tlaku paliva pomocí osciloskopu motortesteru FSA



Obrázek 34 – Průběh napětí na ventilu regulace tlaku paliva 1 (svorky „Ventil reg. paliva napájení“ a „Ventil reg. paliva zem“)



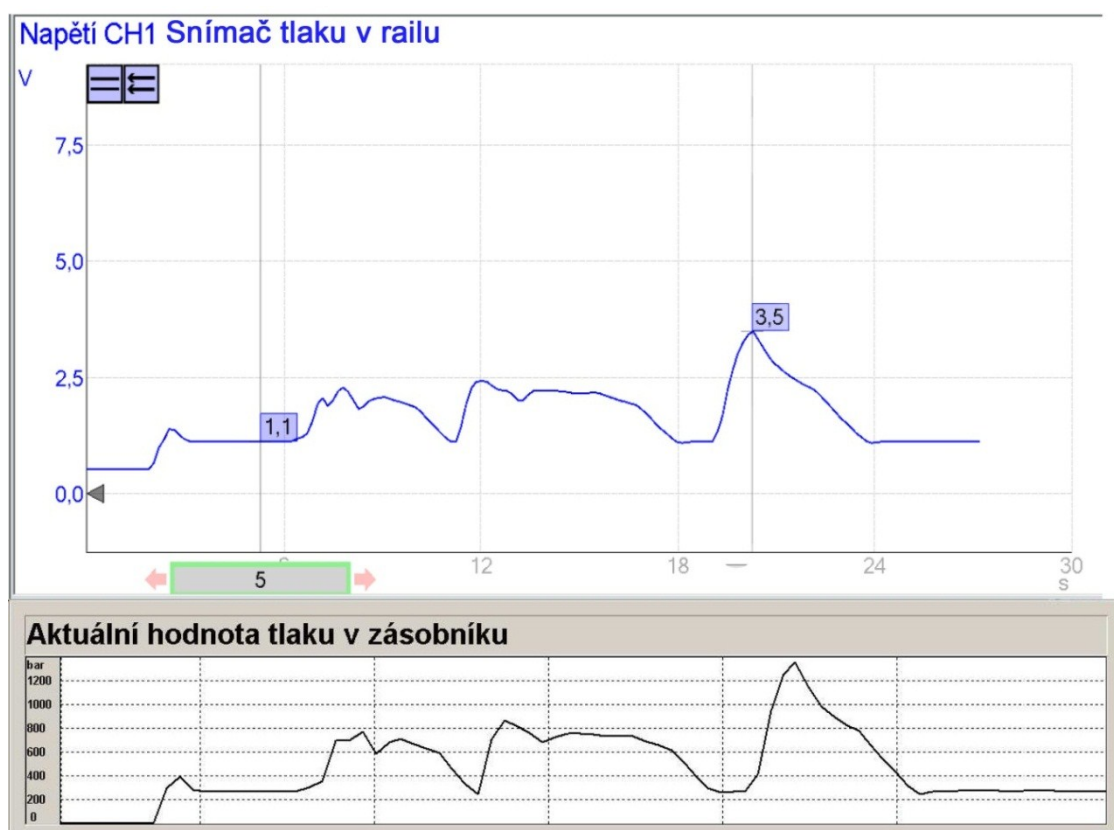
Obrázek 35 – Průběh napětí na ventilu regulace tlaku paliva 2 (svorky „Ventil reg. paliva napájení“ a „Ventil reg. paliva zem“)

Z porovnání obrázků 34 a 35 lze vyčíst, že řízení otevření ventilu je pomocí změny střídy PWM napětí. Na obrázku 34 byl ventil měřen ve volnoběhu. Na obrázku 35 byl ventil měřen při prudké sešlápnutí plynového pedálu bez zátěže. Velikost střídy je úměrná požadavku na zvýšení aktuálního tlaku v zásobníku paliva, takže s rostoucí střídou je ventil více zavřený. Tato charakteristika ventilu má i své bezpečnostní opodstatnění, jelikož při odpojení napájení ventilu musí být ventil otevřen a nesmí se zvyšovat tlak v zásobníku. Například po vypnutí motoru se ventil díky odpojenému napájení otevírá a odpouští přebytečný tlak ze zásobníku zpětným vedením do palivové nádrže.

3.2.10 Snímač tlaku v zásobníku paliva (Rail)

Snímač tlaku v zásobníku paliva měří tlak paliva v zásobníku a s řídicí jednotkou je spojen pomocí 3 vodičů. První vodič je napájení snímače, druhý je výstupní signál a poslední vodič je zem. Pokud řídicí jednotka nemá informaci o tlaku paliva v zásobníku, není umožněno nastartování vozidla. Výstupní signál snímače byl změřen pomocí osciloskopu motortesteru FSA a pomocí sériové diagnostiky byly vyčteny odpovídající hodnoty tlaků z řídicí jednotky.

Měření signálu snímače tlaku v zásobníku paliva pomocí osciloskopu motortesteru FSA a vyčtení hodnot tlaků z ŘJ pomocí sériové diagnostiky



Obrázek 36 – Průběh napětí na snímači tlaku v zásobníku paliva a odpovídající hodnoty tlaků z ŘJ (svorky „Snímač tlaku v railu signál“ a „Snímač tlaku v railu zem“)

Na obrázku 36 jde vidět závislost napětí na velikosti tlaku v zásobníku paliva. Závislost je téměř lineární. Při volnoběhu je hodnota tlaku v zásobníku zhruba 250 barů a hodnota napětí na snímači tlaku v zásobníku paliva zhruba 1,1 V. Při prudkém sešlápnutí plynového pedálu dosáhla hodnota tlaku v zásobníku zhruba 1380 barů, čemuž odpovídala hodnota napětí 3,5 V na snímači tlaku.

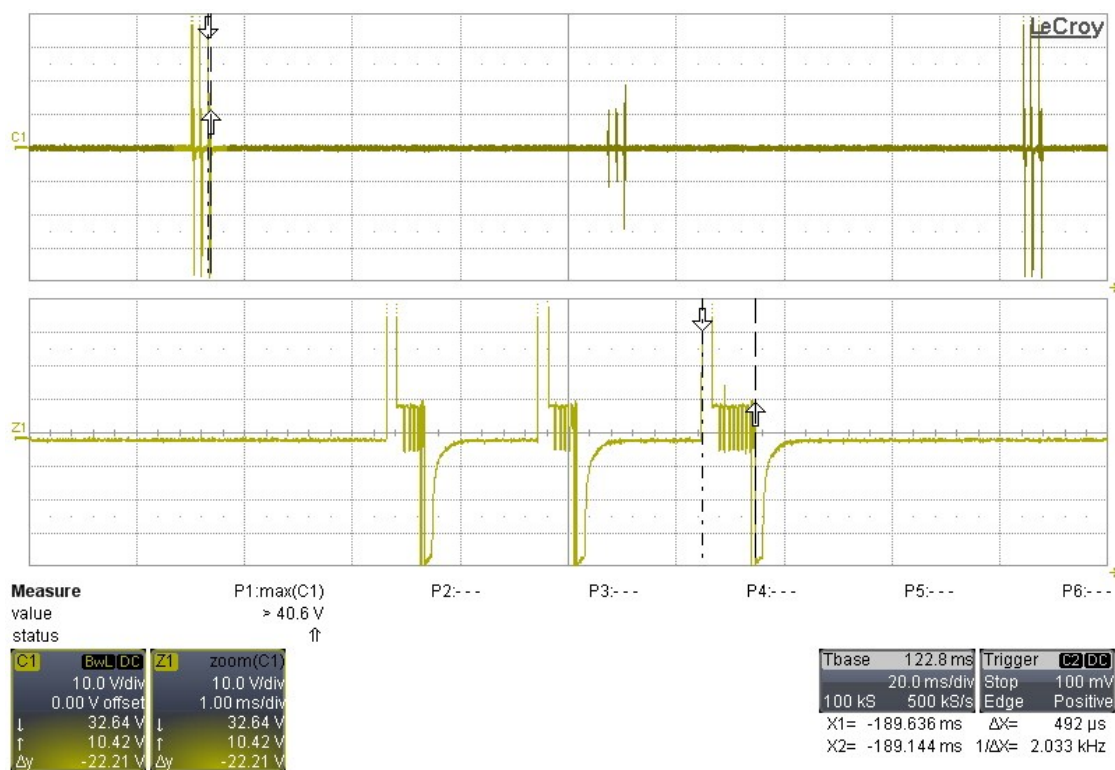
Při správné funkci snímače by hodnota výstupního napětí při volnoběhu měla dosahovat zhruba 1,1 V a se zvyšujícími otáčkami a zatížením by hodnota měla růst.

Pokud se tak neděje, jde pravděpodobně o závadu v systému Common Rail, která způsobuje únik tlaku (poškozené vstřikovače, poškozený ventil regulace tlaku paliva,...) nebo v lepším případě pouze o nefunkční snímač tlak paliva v zásobníku.

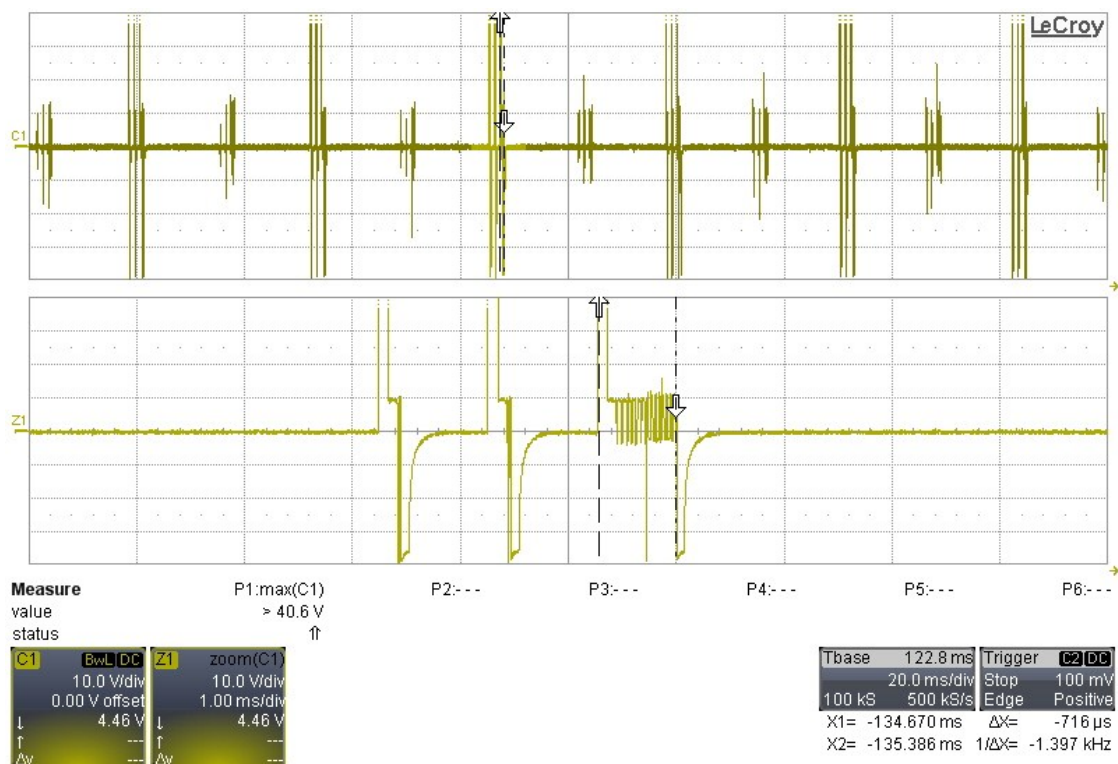
3.2.11 Vstřikovače

Vstřikování je řízeno řídicí jednotkou motoru, která je pomocí dvou vodičů spojena s elektromagnetem vstřikovače. Pomocí kotvy elektromagnetu je nepřímo otevírána tryska vstřikovače. Osciloskopem LeCroy byl změřen průběh napětí na vstřikovači.

Měření signálu na vstřikovači pomocí osciloskopu LeCroy



Obrázek 37 – Průběh napětí na vstřikovači 1 (svorky „Vstřikovač 1+“ a „Vstřikovač 1-“)



Obrázek 38 - Průběh napětí na vstřikovači 2 (svorky „Vstřikovač I+“ a „Vstřikovač I-“)

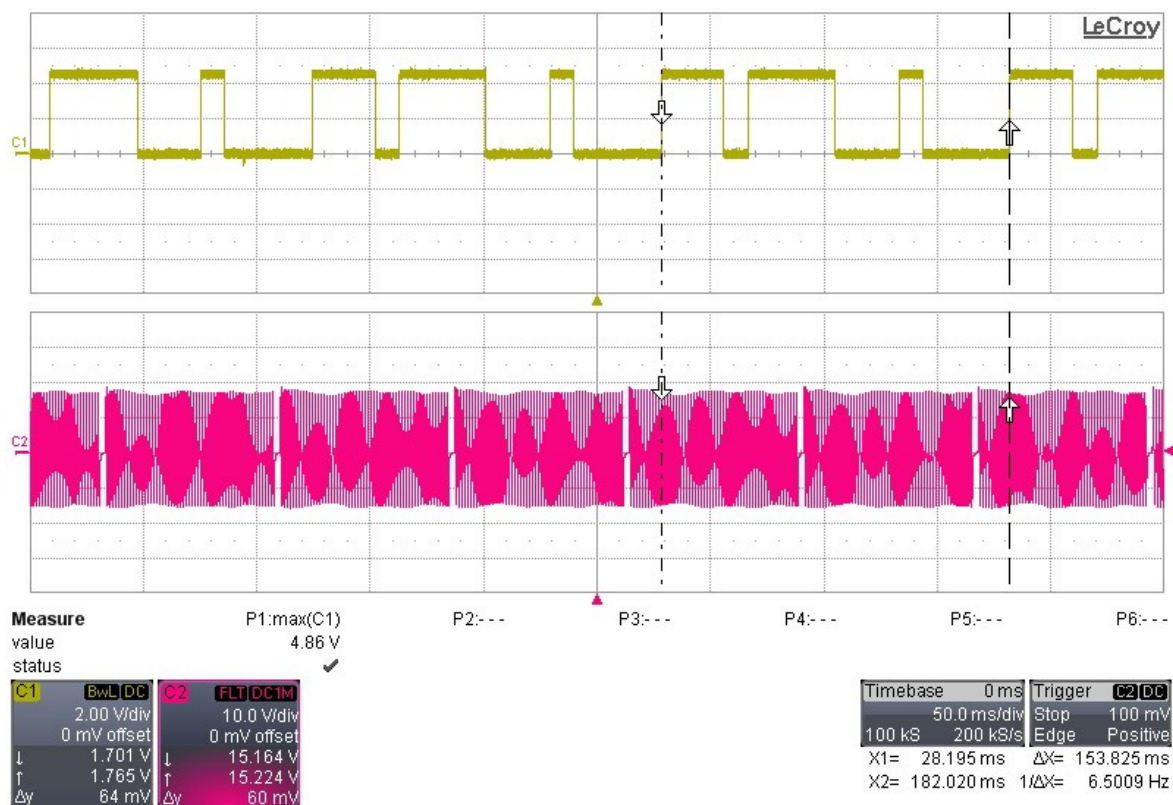
Při pohledu na obrázky 37 a 38 jde vidět, že vstřikování je rozděleno do dvou předvstříků a jednoho hlavního vstříku. Doby otevření vstřikovače ve fázi předvstříků a hlavního vstříku se liší v závislosti na požadovaném množství paliva, které má být vstříknuto. Na obrázku 37 je motor ve volnoběhu a doba hlavního vstříku je 492 μ s. Při akceleraci a zhruba 2800 ot/min, kterým odpovídá obrázek 38, vzrostla doba hlavního vstříku na 716 μ s, ale doby předvstříků se zmenšily, jak vyplývá z porovnání obou obrázků.

3.2.12 Snímač otáček vačkového a klikového hřídele

Snímače otáček ve vozidle jsou nezbytně důležité pro stanovení bodu vstříku paliva. Snímač polohy klikového hřídele je indukční snímač, takže amplituda měřeného signálu roste s rostoucími otáčkami. Signál může dosahovat relativně velkých frekvencí a amplitud, proto jsou signálové vodiče tohoto snímače stíněny.

Snímač otáček vačkového hřídele využívá Hallova jevu, takže jej není potřeba stínit. S řídicí jednotkou motoru je snímač propojen 3 vodiči (napájecím, signálovým a zemnicím vodičem). Pomocí osciloskopu LeCroy byly naměřeny průběhy obou snímačů.

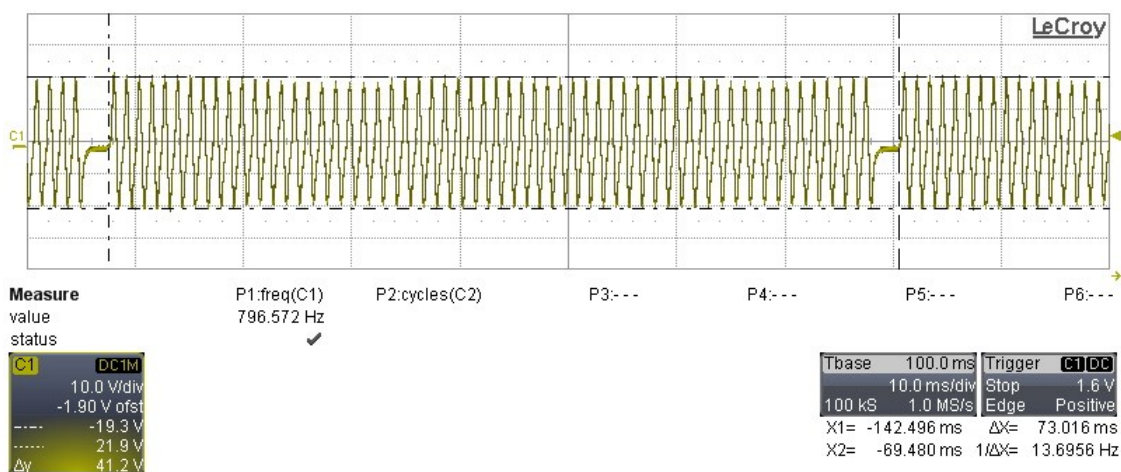
Měření signálu snímačů otáček klikového a vačkového hřídele pomocí osciloskopu LeCroy



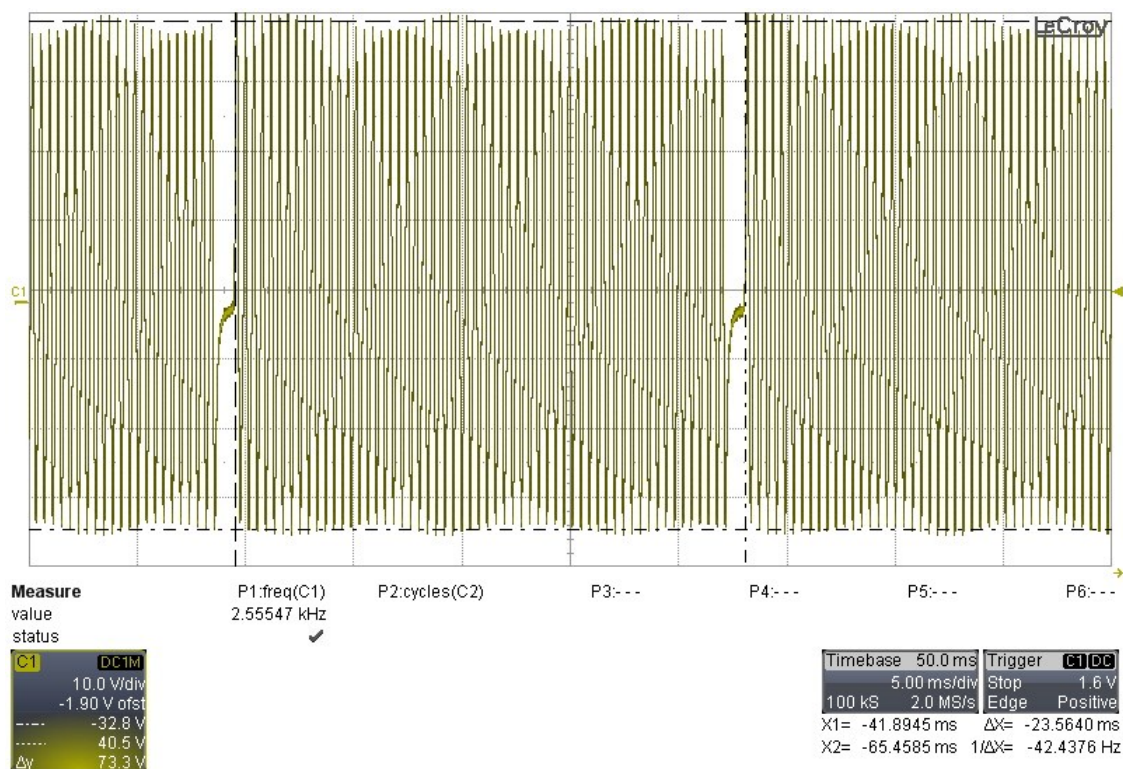
Obrázek 39 – Průběh napětí na snímači otáček vačkového a klikového hřídele (svorky „Snímač vačky signál“ a „Snímač vačky zem“ pro kanál 1 a svorky „Snímač otáček signál“ a „Snímač otáček zem“ pro kanál 2)

Z obrázku 39 je patrné, že frekvence signálu otáček vačkového hřídele je poloviční oproti frekvenci signálu otáček klikového hřídele. To je dáno tím, že se vačkový hřídel otáčí poloviční rychlostí klikového hřídele. Z frekvence signálu klikového hřídele je možné dopočítat aktuální otáčky motoru.

Měření signálu snímače otáček klikového hřídele pomocí osciloskopu LeCroy



Obrázek 40 – Průběh napětí na snímači otáček, 800 ot/min (svorky „Snímač otáček signál“ a „Snímač otáček zem“)



Obrázek 41 – Průběh napětí na snímači otáček, 2500 ot/min (svorky „Snímač otáček signál“ a „Snímač otáček zem“)

Na obrázcích 40 a 41 jde vidět narůst amplitudy signálu na snímači otáček klikového hřídele v závislosti na otáčkách. Zároveň je na průbězích dobře vidět „mezera“, která indikuje přesně danou polohu prvního válce a díky které je možné dopočítat přesnou polohu ostatních válců. Z počtu špiček v rámci jedné periody je možné vypočítat počet zubů na kole setrvačníku, oproti kterému je snímač otáček umístěný.

4 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo provést analýzu využívaných snímačů a akčních členů motoru zkoumaného vozidla, navrhnout, vytvořit a instalovat do vozidla měřicí terminál, proměřit vybrané snímače a akční členy a zpracovat uživatelskou příručku k vytvořenému terminálu.

Analýza snímačů a akčních členů je provedena v první části práce, kde jsou všechny snímače a akční členy rozděleny do 3 podsystémů. V rámci každého podsystému jsou u jednotlivých snímačů a akčních členů uvedeny jejich funkce a vlastnosti.

Návrhu, tvorbě a instalaci měřicího terminálu do vozidla se věnuje začátek druhé části. V této části je podrobně popsán návrh terminálu s odkazy na výrobní dokumentaci v přílohách. Za návrhem terminálu je uveden i popis následné výroby včetně instalace terminálu do vozidla.

Výsledky měření vybraných snímačů a akčních členů jsou uvedeny závěrem druhé části práce. Měření bylo provedeno sériovou diagnostikou a osciloskopem a u každého naměřeného průběhu je komentář s popisem a vysvětlením daného průběhu.

Uživatelská příručka k měřicímu terminálu byla vypracována a je obsažena v příloze D.

5 Seznam obrázků

Obrázek 1 – Fotografie vozidla	10
Obrázek 2 - Soustava dopravy vzduchu a spalín	13
Obrázek 3 – Snímač hmotnosti vzduchu	14
Obrázek 4 – Snímač plnicího tlaku	15
Obrázek 5 – Škrticí klapka	16
Obrázek 6 – Aktuátor klapek víření	16
Obrázek 7 – EGR ventil	17
Obrázek 8 – Turbodmychadlo s variabilní geometrií lopatek [2]	18
Obrázek 9 – Ventil regulace plnicího tlaku	19
Obrázek 10 – Snímač teploty výfukových plynů před turbínou turbodmychadla	19
Obrázek 11 – Lambda sonda	20
Obrázek 12 - Soustava dopravy paliva	21
Obrázek 13 – Snímač teploty paliva	22
Obrázek 14 – Vysokotlaké čerpadlo a ventil regulace tlaku paliva	23
Obrázek 15 - Snímač tlaku v zásobníku paliva	24
Obrázek 16 – Vstřikovače	24
Obrázek 17 – Řez solenoidovým vstřikovačem [3]	25
Obrázek 18 – Schéma indukčního snímače otáček [4]	27
Obrázek 19 – Připojení vodičů k jednotlivým snímačům a akčním členům	29
Obrázek 20 – Horní svařenec terminálu (model)	31
Obrázek 21 – Svařenec spodního dílu (model)	31
Obrázek 22 – Instalovaný terminál ve vozidle	32
Obrázek 23 – Detail měřicího terminálu ve vozidle	33
Obrázek 24 – Signál snímače hmotnosti vzduchu 1 (svorky „MAF signál“ a „MAF zem“)	34
Obrázek 25 – Signál snímače hmotnosti vzduchu 2 (svorky „MAF signál“ a „MAF zem“)	34
Obrázek 26 – Měření převodní charakteristiky snímače hmotnosti vzduchu	35
Obrázek 27 – Graf převodní charakteristiky snímače hmotnosti vzduchu	36
Obrázek 28 Snímač plnicího tlaku – závislost napětí snímače na plnicím tlaku	37
Obrázek 29 – Průběh napětí na snímači polohy škrticí klapky (svorky „Škrticí klap. signál pozice“ a „Škrticí klap. zem pozice“)	38

Obrázek 30 – Průběh napětí na snímači polohy klapky víření (svorky „Klapka víření signál“ a „Klapka víření zem“)	39
Obrázek 31 – Závislost otevření EGR ventilu na poloze plynového pedálu	40
Obrázek 32 - Převodní charakteristika ventilu regulace plnicího tlaku	42
Obrázek 33 – Průběh napětí na širokopásmové lambda sondě (svorky „Lambda čerpací proud“ a „Lambda virtuální zem“)	43
Obrázek 34 – Průběh napětí na ventilu regulace tlaku paliva 1 (svorky „Ventil reg. paliva napájení“ a „Ventil reg. paliva zem“)	44
Obrázek 35 – Průběh napětí na ventilu regulace tlaku paliva 2 (svorky „Ventil reg. paliva napájení“ a „Ventil reg. paliva zem“)	44
Obrázek 36 – Průběh napětí na snímači tlaku v zásobníku paliva a odpovídající hodnoty tlaků z ŘJ (svorky „Snímač tlaku v railu signál“ a „Snímač tlaku v railu zem“)	45
Obrázek 37 – Průběh napětí na vstřikovači 1 (svorky „Vstřikovač 1+“ a „Vstřikovač 1-“)	46
Obrázek 38 - Průběh napětí na vstřikovači 2 (svorky „Vstřikovač 1+“ a „Vstřikovač 1-“)	47
Obrázek 39 – Průběh napětí na snímači otáček vačkového a klikového hřídele (svorky „Snímač vačky signál“ a „Snímač vačky zem“ pro kanál 1 a svorky „Snímač otáček signál“ a „Snímač otáček zem“ pro kanál 2)	48
Obrázek 40 – Průběh napětí na snímači otáček, 800 ot/min (svorky „Snímač otáček signál“ a „Snímač otáček zem“)	48
Obrázek 41 – Průběh napětí na snímači otáček, 2500 ot/min (svorky „Snímač otáček signál“ a „Snímač otáček zem“)	49

6 Seznam tabulek

Tabulka 1 – technická specifikace vnějších rozměrů [1]	10
Tabulka 2 – technická specifikace motoru [1]	11
Tabulka 3 – technická specifikace převodového ústrojí [1]	11
Tabulka 4 - technická specifikace hmotnosti [1]	11
Tabulka 5 - technická specifikace provozních vlastností [1]	11
Tabulka 6 – Převodní charakteristika snímače hmotnosti vzduchu	36
Tabulka 7 – Převodní charakteristika elektromagnetického ventilu regulace plicního tlaku	41

7 Seznam použité literatury

- [1] *Technická data - Hyundai Motor Czech s.r.o.* [online]. [24. 3. 2013]. Dostupné z: <http://www.hyundai.cz/nabizene-modely/nova-i30-kombi/vybava-a-technologie/technicka-data.html>
- [2] Dílenská příručka Škoda - motor 1,9 l / 81 kW TDI: Konstrukce turbodmyhadla s proměnnou geometrií turbíny.
- [3] ISENBURG, R. a MÜNZERNMAY, M. *Systém vstřikování nafty s tlakovým zásobníkem Common Rail: elektronické řízení vznětových motorů*. 1. české vyd. Praha: Robert Bosch, 1999, 49 s. Technická příručka (Bosch). ISBN 80-902-5856-5.
- [4] *Systém řízení motoru Motronic: řízení zážehového motoru*. 1. české vyd. Praha: Robert Bosch, 1999, 65 s. Technická příručka (Bosch). ISBN 80-902-5853-0.
- [5] *MAP sensor* [online]. Bosch - Robert Bosch GmbH, [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.bosch.com.au/content/language1/html/4596.htm>.
- [6] *Lambda Sensor LSU 4.9* [online]. Bosch, [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.bosch-motorsport.de/pdf/sensors/lambda/lsu49.pdf>.

8 Seznam příloh

Příloha A: Výkresová dokumentace terminálu

Příloha B: Popis zapojení kabelů a konektorů

Příloha C: Schéma zapojení svorek, potisky terminálu

Příloha D: Uživatelská příručka k terminálu